



# Nez et Langues électroniques

*Quel potentiel de développement pour les productions piscicole et avicole ?*

## Résumé

L'éleveur fait appel à tous ses sens pour apprécier l'état de ses animaux. La vue, l'ouïe, l'odorat et le toucher apportent des informations précieuses qui ne sont pas toujours faciles à objectiver. Le développement des nouvelles technologies en élevage permet d'apporter un complément aux sens de l'éleveur. L'intérêt et la mise en œuvre de nez et langues électroniques sont à ce jour assez peu explorés pour des applications en élevage, contrairement à l'imagerie (vue) et à l'acoustique (ouïe) qui ont déjà des applications en aviculture. Deux applicatifs du nez électronique en élevage avicole pourraient être l'objectivation des nuisances olfactives et la détection de fientes infectées par un virus spécifique. En pisciculture, la langue électronique serait intéressante pour détecter la présence de l'off-flavor dans l'eau. Les objectifs de cet article sont de recenser les initiatives relatives aux technologies de nez et langues électroniques et d'identifier leurs avantages et inconvénients pour répondre aux besoins des filières avicole et piscicole. Les modules multi-capteurs que sont les nez, semblent être ainsi une alternative prometteuse et à bas coût pour la mesure des odeurs mais leur sensibilité à l'humidité reste un frein majeur pour une utilisation en élevage. Les langues électroniques sont pour le moment des outils de laboratoire onéreux et difficiles à mettre en œuvre pour des mesures en élevage, mais les développements vont dans le sens de la miniaturisation de ces technologies pour les rendre plus facilement transportables.

## 1. L'élevage de précision au service des 5 sens de l'éleveur

L'élevage de précision se développe fortement depuis ces dernières années au sein des filières animales, avec le développement de nouvelles technologies facilitant le suivi et la gestion des animaux par l'éleveur. Elles viennent conforter et compléter ses décisions et observations, grâce à des alertes pertinentes issues d'un monitoring en continu et une analyse en temps réel des données. Pour la prise de décision, l'éleveur fait instinctivement appel à au moins 4 de ses 5 sens : la vue, l'ouïe, l'odorat et le toucher. Aujourd'hui, les sens de l'éleveur peuvent être reproduits, adaptés, voire augmentés au moyen de nouvelles technologies, couplées à de l'intelligence artificielle (voir définition dans l'encadré). Les développements les plus avancés et déjà en cours d'utilisation ou en voie de commercialisation en filière animale concernent l'analyse

d'image (la vue) et l'acoustique (l'ouïe). Les principaux développements réalisés et à l'étude en filière avicole sur ces deux types de technologies sont décrits par Créach *et al.* (2019). Les analyses d'image et acoustique sont principalement utilisées et étudiées pour relever des indicateurs de bien-être et de santé des volailles (évolution dans la répartition des animaux, mouvements du groupe de volailles et détection de symptômes respiratoires) mais aussi pour la détection d'événements comme la rupture d'approvisionnement sur une ou plusieurs mangeoires par exemple.

**Les objectifs de cet article sont de (1) recenser les technologies de nez et langues électroniques développées ou à l'étude et (2) d'identifier les avantages et inconvénients de chacune.** La finalité est d'identifier une technologie fiable, simple et peu coûteuse pour répondre aux besoins des filières avicole et piscicole.

### Qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle (IA) ?

« L'Intelligence Artificielle est un ensemble de techniques permettant à des machines d'accomplir des tâches et de résoudre des problèmes normalement réservés aux humains et à certains animaux. Les tâches relevant de l'IA sont parfois très simples pour les humains [...] mais elles requièrent parfois de la planification complexe. [...] L'intelligence artificielle est presque toujours associée aux capacités d'apprentissage. C'est grâce à l'apprentissage qu'un système intelligent capable d'exécuter une tâche peut améliorer ses performances avec l'expérience. C'est grâce à l'apprentissage qu'il pourra apprendre à exécuter de nouvelles tâches et acquérir de nouvelles compétences. »

(LeCun Y., 2016)

## 2. Pourquoi les nez et langues électroniques ?

### Définitions

Les nez et langues électroniques sont des dispositifs qui permettent de reconnaître respectivement des odeurs et des saveurs. Le nez s'appuie sur un ensemble de capteurs de composés volatils et la langue électronique utilise des capteurs qui fonctionnent en milieu liquide. Par analogie avec le système olfactif et gustatif humain, les nez et langues électroniques nécessitent une phase d'apprentissage pour constituer une base de données (bibliothèque) d'odeurs et de saveurs. Il est ensuite possible de pouvoir les identifier, les classer et d'incrémenter la base de données lors de l'analyse d'un

nouvel échantillon. Les méthodes d'intelligence artificielle utilisées sont principalement des méthodes statistiques de reconnaissance par apprentissage, comme des réseaux de neurones par exemple.

Aujourd'hui, les dispositifs de nez et langues électroniques sont principalement utilisés pour des applications en agro-alimentaire, pour l'identification de la composition d'un produit ou des contrôles de qualité. Les nez artificiels peuvent aussi être utilisés pour des problématiques environnementales de pollution de l'air.

Exemples possibles d'utilisation en filières avicole et piscicole

Cas d'usage des nez électroniques

En aviculture, les nuisances olfactives liées aux activités d'élevage (bâtiment et épandage des effluents) peuvent créer des tensions avec le voisinage, voire conduire à des plaintes. Dans ces situations, les éleveurs ont besoin d'une mesure de la nuisance pour objectiver le problème et montrer l'efficacité de leurs mesures de prévention ou de correction. La méthode de référence consiste à prélever un échantillon d'air et à le faire analyser en laboratoire par un jury de nez humains. Cette analyse est coûteuse et implique un délai entre le prélèvement et analyse, avec des pertes de molécules odorantes et une modification possible de l'échantillon d'air prélevé.

Autre exemple d'applicatif, les nez électroniques pourraient permettre identifier des fientes d'oiseaux infectés par la grippe aviaire. En effet, une étude de 2013 du Monell Chemical Senses et du Département Américain de l'Agriculture (USDA) a montré que des fientes porteuses de l'influenza aviaire chez le canard colvert était associées à une odeur distincte (Kimball *et al*, 2013). D'autres applications pourraient être envisagées comme la détection de la colibacillose par exemple.

Cas d'usage des langues électroniques

En pisciculture, le phénomène de l'off-flavor est relatif à une odeur spécifique de « terre » ou « moisi », pouvant dégrader sensiblement la qualité organoleptique des poissons. Ce phénomène est principalement lié à la qualité de l'eau et à l'apparition de composés odorants volatils tels que la géosmine et le méthyl-isobornéol (Robin *et al*, 2006). Actuellement, les méthodes de détection du off-favor par analyse sensorielle sont appliquées après l'apparition du problème, dans les produits à transformer ou à commercialiser. Détecter l'off-flavor dans les bassins d'élevage permettrait d'anticiper la prolifération de ces molécules et la mise en place de solutions correctives dès les premiers signaux d'alerte.

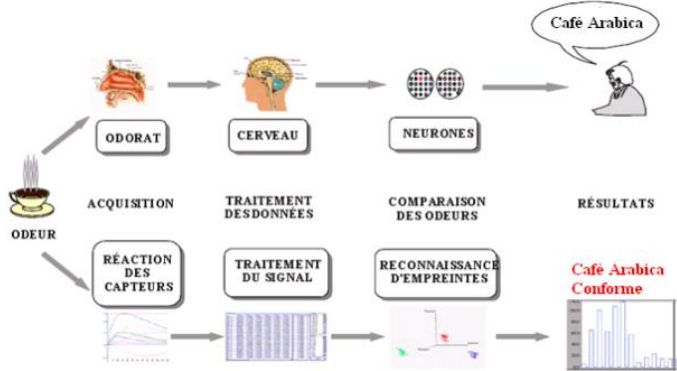
L'analyse de la perception sensorielle (odeur, goût) qu'ont les volailles et poissons de leur environnement (eau, aliment) est nécessaire avant d'envisager des applicatifs relatifs à ces deux technologies, dans l'idée d'agir sur le comportement alimentaire. Les nez et langues

électroniques sont en effet développés pour approcher la perception humaine pour une utilisation en agroalimentaire, ce qui nécessiterait des adaptations appropriées.

3. Nez électroniques

Le principe de l'identification d'une odeur ou d'une composition gazeuse est inspiré du nez humain, par l'apprentissage et la classification de l'odeur identifiée (grâce au cerveau) caractérisés par une réponse des capteurs (que sont les cellules olfactives) (Figure 1).

Figure 1 : Comparaison du nez humain et du nez électronique avec l'exemple du café arabica (Baha, 2012)



Les nez électroniques repèrent des composés volatils (molécules chimiques dites odorantes). Ils peuvent être utilisés pour la détection de la nature et/ou donner une intensité d'odeur. Les nez électroniques sont capables de reconnaître des anomalies, de détecter des variations par rapport à un standard mais ne permettent pas d'analyser le contenu strict du mélange.

2.1. Technologies de capteurs utilisées dans les nez électroniques

Les capteurs à base d'oxydes métalliques (MOX), les capteurs à base de polymères conducteurs et les capteurs acoustiques sont les plus couramment utilisés pour des applications de nez électronique. Une synthèse des principales technologies utilisées est faite dans le Tableau 1.

Types de capteurs	Principe d'opération
Oxydes métalliques (MOX)	Conductivité électrique
Electrochimique	
Polymères conducteurs	Piézoélectricité
Acoustique	
Optique	Fluorescence, chimiluminescence

Tableau 1 : Principales technologies de capteurs utilisées dans les nez électroniques (Diaa Ahmadou, 2015)

Les MOX se composent d'un matériel semi-conducteur (oxyde de zinc ou d'étain par exemple) déposé sur un substrat entre deux électrodes de métal et d'une résistance chauffante (Figure 2). Les composés volatils réagissent avec les molécules d'oxydes en surface de la couche

métallique, entraînant un changement de conductivité du capteur constituant l'information.

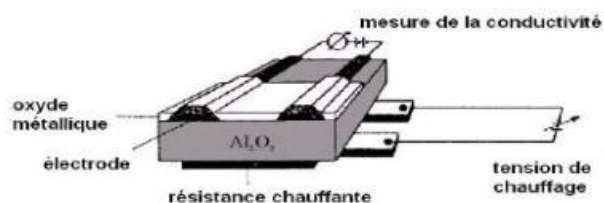


Figure 2 : Capteur à oxyde métallique semi-conducteur (MOX) (Baha, 2012).

Les MOX sont disponibles facilement à des coûts abordables et sont sensibles à une large gamme de molécules. Les capteurs à base de polymère ont le même principe de fonctionnement que les MOX mais le matériel actif est un polymère conducteur. Ces derniers ont l'avantage de ne pas utiliser de résistance chauffante car ils fonctionnent à température ambiante. L'inconvénient majeur de ces deux capteurs réside dans leur sensibilité au taux d'humidité relative (plus pour la base polymère, que la base MOX), ce qui affecte leur sélectivité. Pour y remédier, des améliorations sont possibles sur le capteur lui-même.

La majorité des solutions de nez électroniques commercialisés se compose d'une combinaison de plusieurs capteurs de différentes technologies, associée à du traitement de données appelé aussi « système multicapteurs » (Baha, 2012). Ce réseau de capteurs joue le rôle des cellules olfactives. Ces systèmes permettent de quantifier de façon globale des ambiances complexes, en fournissant des données analytiques précises nécessitant des méthodes d'analyse multivariable. Par exemple, le Rubix-POD regroupe différents capteurs : 4 capteurs MOX pour la mesure des composés organiques volatils et odeurs, 3 capteurs électrochimiques de gaz, 1 capteur de particules, 1 capteur optique spécifique à la mesure des concentrations en  $\text{CO}_2$ , des capteurs température, humidité, pression, luminosité, bruits et vibrations. Ce dispositif est qualifié de nez électronique et est utilisé pour la caractérisation de l'environnement intérieur et l'optimisation de la gestion des bâtiments industriels (hors élevage). En complément des mesures de molécules odorantes, les capteurs électrochimiques sont largement utilisés dans les applications de nez électronique pour détecter des gaz. Ces capteurs exploitent l'apparition d'un potentiel ou d'un courant entre deux électrodes d'un électrolyte solide ou liquide, due à une réaction chimique qui mobilise les ions. L'intérêt de ces capteurs réside dans leur sélectivité à certains gaz tels que l'ozone, mais leur durée de vie est assez faible (quelques mois).

Autre technologie de capteur utilisée dans les nez électroniques, les capteurs acoustiques sont basés sur l'utilisation de matériaux piézoélectriques recouverts d'une

mince couche de polymère. Les molécules odorantes sont adsorbées dans le polymère, modifiant la résistance du capteur. Ceci induit un changement mesurable de la fréquence de résonance du capteur. Une synthèse des avantages et inconvénients de chacune des technologies de capteurs est faite dans le Tableau 2. Les principaux inconvénients listés concernant la dérive des données dans le temps, les possibilités d'empoisonnement et de sensibilité plus ou moins importante à l'humidité. Le principal avantage identifié pour les technologies de capteur listées est leur sensibilité élevée.

	Avantages	Inconvénients
<b>Oxydes métalliques (MOX)</b>	Grande disponibilité ; faible coût, sensibilité élevée	Haute température, sensible à l'humidité, empoisonnement possible, dérive du zéro
<b>Polymères conducteurs</b>	Température ambiante, grande variété de matériaux disponibles, miniaturisation possible, sensibilité élevée	Difficultés de reproductibilité dans la préparation des capteurs, très sensible à l'humidité, empoisonnement possible, dérive du zéro
<b>Acoustique</b>	Sensibilité à l'humidité négligeable, température ambiante, sensibilité et stabilité élevées.	Composants électroniques complexes, détecteur de fréquence sujet à une dérive de sa fréquence de résonance.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des 3 principales technologies de capteurs utilisées dans les nez électroniques (Diaa Ahmadou, 2015)

## 2.2. Les méthodes optiques

Les capteurs optiques sont de différents types. La spectrométrie est la plus connue et la plus répandue. Elle consiste à récupérer les spectres d'émission ou d'absorption, significatifs de l'espèce chimique étudiée. Les capteurs à infrarouge utilisent une source infra-rouge dont le rayonnement passe à travers une chambre remplie de gaz sans être dévié, et le détecteur infrarouge récupère en sortie le spectre d'atténuation des longueurs d'onde. Chaque liaison chimique des molécules crée une augmentation de l'absorption de la lumière pour une longueur d'onde caractéristique, ce qui permet de les différencier. Les sources lumineuses peuvent varier et impacter fortement le coût du capteur (laser, LED).

Les méthodes optiques sont d'ailleurs largement utilisées en alimentation animale pour la caractérisation chimique des matières premières ou des aliments.

Technologie SPRI miniaturisée, exemple du NeOse testée en collaboration avec l'ITAVI

Le nez électronique développé par la société *Aryballe Technologies* est un exemple de méthode optique miniaturisée et portable qui combine une soixantaine de nano-capteurs biochimiques sur la base d'une technologie de résonance plasmonique de surface par imagerie (SPRI). L'appareil aspire l'air et les molécules aromatiques présentes viennent se fixer, par affinité, à la surface de nano-capteurs embarqués sur la SPRI. Une LED éclaire le prisme qui va jouer un rôle de miroir et refléter l'image sur une caméra. La disposition et la réflexion des biocapteurs qui ont réagi avec les molécules forme un motif, aussi appelé 'signature odorante' qui sera comparé à celle d'une base de données d'odeurs connues (exemple Figure 2). Ce type d'appareil n'est pas spécifique à une molécule et ne fournit pas une information quantitative (concentration d'un produit par exemple). Deux types de données sont obtenues : (1) l'intensité des odeurs ; (2) la signature olfactive de chaque composé, qui représente le modèle défini par l'interaction entre les nanocapteurs et les composés odorants.

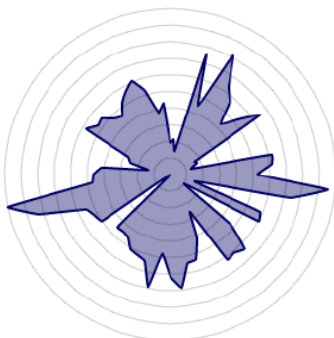


Figure 2 : Exemple de signature odorante obtenue lors de test à l'intérieur d'un élevage de canards (crédit ITAVI).

Les résultats obtenus avec ce nez électronique semblent intéressants pour détecter des odeurs de forte intensité. La combinaison de nano-capteurs peut être adaptée en fonction des composés odorants constitutifs du mélange. Ceci s'applique aussi pour les dispositifs multicapteurs de manière générale. En collaboration avec cette société, l'ITAVI a pu générer les signatures odorantes associées à des prélèvements de gaz en élevage de volailles (poulets, canards et poules pondeuses). Les signatures odorantes générées par le NeOse en élevage de volailles présentaient des similitudes avec la signature de l'ammoniac en solution pure ( $\text{NH}_3$ ) et de façon reproductible. Il pourrait donc être pertinent d'associer un capteur de concentration en  $\text{NH}_3$  au NeOse. Ce nez n'est cependant pas adapté pour un usage à l'extérieur, en milieu diffus, pour répondre à la problématique des nuisances olfactives liées aux activités d'élevages. Pour y remédier, des développements sont en cours pour mettre

au point un concentrateur d'odeurs. Des interférences avec l'eau ont aussi été constatées sur la plupart des prélèvements réalisés en élevage et nécessitent d'être corrigées. L'avantage de cette solution est qu'elle est portable et facilement utilisable *in situ*.

Cette technologie a aussi été testée pour détecter des échantillons de chair de poissons porteurs d'Off flavor, en frais ou congelés. Les essais ont été infructueux en raison (1) de l'élément « eau » qui constitue un interférent trop important et (2) probablement des seuils de détection de l'appareil qui seraient trop élevés par rapport aux concentrations minimales de composés Off flavor dans les produits, qui pour autant sont détectables par l'humain à ces seuils.

4. Langues électroniques

La langue électronique fonctionne de manière similaire au nez électronique. Elle consiste en une matrice capteurs, corrélée à certaines caractéristiques ou qualités de l'échantillon (Rita Di Rosa et al, 2020). Il s'agit d'un dispositif plus récent que les nez électroniques.

La langue électronique est constituée d'électrodes qui enregistrent un signal électrique, qui varie en fonction de la composition du liquide. Les principaux types de technologies de capteurs utilisés dans les langues électroniques sont listés dans le Tableau 3 ci-dessous.

Types de capteurs	Principe d'opération
Electrochimique	Potentiométrie (électrodes sélectives aux ions ou transistor à effet champ FET)
	Voltamétrie
Massique	Microbalances à quartz
	Ondes acoustiques de surface
Optique	Microleviers
	Colorimétrie (absorbance)
	Fluorescence
	Résonance plasmonique de surface

Tableau 3 : Principales technologies de capteurs utilisées dans les langues électroniques (Garçon, 2015).

Les systèmes basés sur les variations de masse sont peu utilisés pour des applications de langue électronique en raison de leurs problèmes de reproductibilité et une faible sélectivité d'absorption rendant l'analyse des résultats complexes (Garçon, 2015).

3.2. La potentiométrie avec l'Hypertaste

Le principe de fonctionnement des capteurs potentiométriques est basé sur la différence de potentiel entre une électrode de mesure et une électrode de référence, les deux immergées dans une solution



parcourue par un courant. Le potentiel mesuré est fonction de la présence ou non de molécules capables d'accepter ou de donner des électrons. La potentiométrie est la méthode la plus utilisée dans les systèmes de langue électronique en raison de leur faible coût, de leur simplicité d'installation, et de leur facilité de fabrication (Garçon, 2015). Les électrodes utilisées sont sélectives par rapport aux ions grâce à l'utilisation de membranes spécifiques. Par exemple, les membranes en verre sont sélectives aux ions  $H^+$  et  $Na^+$ . Lorsque ces techniques électrochimiques sont utilisées dans un milieu complexe, constitué de plusieurs composés redox-actifs et de divers ions, la sélectivité du système est souvent insuffisante pour l'analyse d'un seul composant. Ainsi, on obtient des "spectres" assez complexes, et l'interprétation des données repose sur des méthodes d'analyse multivariée (Di Rosa et al., 2020).

La langue électronique *Hypertaste* (Figure 3) développée par IBM est un exemple de langue basée sur ce procédé. Elle permet d'exporter les tâches de classification dans un Cloud et les résultats sont dévoilés sur le smartphone de l'utilisateur en moins d'une minute. Le procédé est basé sur un algorithme de machine learning de type « forêt aléatoire » (*Random Forest*) entraîné avec les données via la librairie *Scikit-learn* en Python (Rush et al., 2019). L'avantage d'avoir un modèle d'apprentissage machine dans le Cloud est que les capteurs peuvent être reconfigurés à distance. Cette langue est miniaturisée et donc facilement transportable.



Figure 3 : Illustration de la langue électronique *Hypertaste* (source IBM), la partie bleue est immergée et centralise les différents capteurs. Le département d'ingénierie électronique de l'Université de Rome utilise ce même type de technologie basée sur la potentiométrie, pour la détection des deux principales molécules responsables de l'Off flavor (la géosmine et le méthyl-isobornéol). La langue électronique utilisée est composée de 8 capteurs avec deux types de membranes différentes. Elle a permis de discriminer des échantillons avec des concentrations en molécules odorantes allant de 20 à 100 ng/L (Lvova et al., 2020), 20 ng/L étant la concentration proche du seuil de détection du nez humain. Les deux molécules ont été ajoutées dans les solutions à des concentrations connues et la réponse du capteur a été corrélée à ces concentrations. Cette langue électronique ne permet pas d'estimer la quantité de composés présents dans la solution mais détecte des variations par rapport à un standard. Des échanges ont été établis avec ce département d'ingénierie électronique de l'Université de

Rome. A titre exploratoire, l'ITAVI leur a envoyé des échantillons d'eau porteurs ou non d'Off Flavor (sans quantification des composés de géosmine et de méthyl-isobornéol présents dans les échantillons envoyés). La langue électronique a permis de discriminer les échantillons porteurs d'Off Flavor. Cette technologie de nez semble prometteuse pour répondre à cette problématique piscicole. Cependant, elle nécessite des adaptations pour améliorer encore les performances de détection et de répétabilité, avant d'envisager un développement commercial.

### 3.3. Le système FET avec l'Astree

**Le système électrochimique FET ou transistor à effet de champ est le principe de mesure utilisé par exemple pour la langue électronique Astree** développée par AlphaMOS (Genua M. ; 2013). Elle est composée de sept capteurs, qui comportent chacun une membrane organique spécifique qui réagissent chacun de manière différente au contact des composés chimiques ioniques et neutres de l'échantillon. Toute interaction à l'interface de la membrane est détectée par le capteur et convertie en signal électrique (Garçon, 2015). Les capteurs peuvent qualifier sur une échelle de 0 à 5 les différentes composantes du goût (salé, sucré, acide, amer, métallique, piquant ou astringent). Trois gammes de 7 capteurs ont été développées pour trois applications respectives dans l'alimentaire, la pharmaceutique et la mesure d'amertume (Woertz et al., 2011). Il s'agit d'un appareil de laboratoire non transportable pour des applications *in situ* pour des résultats en temps réel, mais des améliorations de design et de sécurité électronique ont été apportées dernièrement pour améliorer cet aspect (Figure 4).

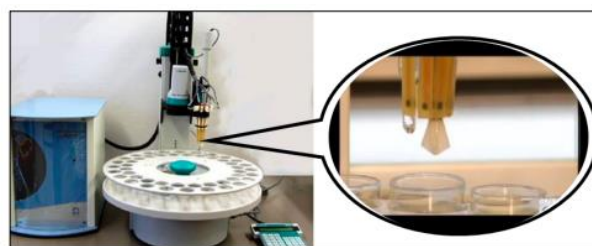


Figure 4 : Photographie du système Astree d'AlphaMOS (Woertz et al., 2011).

Cette même technologie FET associée à des nanomatériaux (nanotube de carbone ou de polymère conducteur) permet d'améliorer la sensibilité de cette technologie. Cette association a été testée pour les suivis des composés odorants responsables du Off-Flavor dans l'eau. La limite de détection de ce capteur était suffisamment basse pour détecter la géosmine et le méthyl-isobornéol à une concentration de 20 ng/L (Son et al., 2015).

### 3.4. Les systèmes optiques : des systèmes prometteurs

Les systèmes optiques (Tableau 2) sont composés d'une source lumineuse, d'éléments pour diriger la lumière et d'un photo-récepteur. Le signal mesuré peut être l'absorbance, la fluorescence, la polarisation ou l'indice de réfraction. Ces systèmes semblent prometteurs pour l'analyse de milieux complexes mais leur conception s'avère compliquée, ce qui limite le nombre de récepteurs et restreint ainsi leur diversité. De plus, ces systèmes ont une durée de vie faible (Garçon, 2015).

## 5. Discussion et tendances futures

La précision des nez électroniques n'est à ce jour pas comparable à celle des instruments existants en chimie analytique. Le manque de reproductibilité (influence du taux d'humidité et empoisonnement) est l'un des problèmes importants à résoudre, gênant toute mesure directe, même dans un milieu préalablement référencé (Loutfi, 2015). L'utilisation de ces instruments permet difficilement d'obtenir une estimation de toutes les espèces chimiques détectées. Cependant, contrairement aux mesures traditionnelles, les nez et langues électroniques sont plus rapides, présentent l'avantage d'être totalement objectifs (au contraire d'un jury de nez qui peut ne pas être totalement entraîné sur des odeurs très spécifiques) et ne détruisent pas les échantillons testés (Di Rosa et al., 2020).

La tendance est à la miniaturisation et la compatibilité avec des systèmes de traitement du signal pour obtenir des dispositifs totalement intégrés et des informations directement interprétables par l'utilisateur. La performance de ces outils réside aussi dans l'analyse du signal, le traitement analytique des données et la richesse de la base de données d'apprentissage disponible. De récents développements portent sur de la bioélectronique, qui intègre l'utilisation de récepteurs olfactifs et récepteurs de goût humains dont les composés actifs sont des protéines des récepteurs humains. Ils présentent une sensibilité améliorée par rapport aux capteurs électroniques pures (Wasilewski, 2019).

La possibilité d'automatisation pour du suivi en temps réel des odeurs ou saveurs est une perspective intéressante mais les développements sont limités à ce jour sur ce point. La combinaison du nez et d'une langue électronique permet de fournir une information plus riche en fonction des besoins. D'après Wasilewski *et al* (2019), la combinaison des deux dispositifs pourrait jouer un rôle clé dans l'automatisation de l'évaluation. Les coûts de ces technologies sont relativement importants à ce jour pour une application en filière animales comparativement aux performances de ces outils, qui restent encore perfectibles.

En plus de compléter la perception des éleveurs ou de confirmer celles du voisinage des élevages, ces outils pourraient être utilisés pour objectiver ce que perçoit l'animal, comme évoqué plus haut avec l'évaluation de l'appétence de l'eau et de l'aliment pour les volailles. En pisciculture, utiliser ce matériel permettrait de caractériser plus finement l'environnement des poissons avec de nouvelles informations à fournir aux éleveurs.

## 6. Conclusion

A ce jour, les nez et langues électroniques nécessitent d'être adaptés pour répondre aux besoins identifiés en filières avicole et piscicole. L'objectivation des nuisances odorantes en aviculture et la détection de l'off-flavor semblent pouvoir être appréciés avec respectivement le nez et la langue électronique, mais de nouvelles études doivent être réalisées pour le vérifier. La sensibilité des nez électroniques à l'humidité est problématique pour un usage en filières avicole et piscicole. La majorité des solutions commerciales de nez électroniques se compose de plusieurs capteurs, qui viendront compléter le signal obtenu par des informations qualitatives et permettront d'améliorer leurs sensibilités (ajout de capteurs de concentration en ammoniac et du taux d'humidité relative par d'exemple). Le choix des capteurs à associer est à adapter en fonction de l'objectif de la mesure et de la connaissance du milieu étudié. La tendance forte vers la miniaturisation des technologies rendra le matériel facilement transportable, ce qui est entre autre nécessaire avant d'envisager une application en filières animales. Les langues électroniques sont à ce jour des appareils de laboratoire et les usages en élevages avicoles comme piscicoles sont limités.

## Références bibliographiques

- Baha H. ; 2012. Conception d'un capteur de gaz intelligent. Rapport de thèse. Université Hadl Lakhdar Batnat, Faculté de Technologie, Département d'Electronique.
- Créach P., Travel A., Bouvarel I. ; 2019. L'imagerie et le son pour automatiser le relevé d'indicateurs de bien-être et de santé des volailles. Revue TeMA ITAVI. Juillet-Août-Septembre 20119. N°51.
- Diaa Ahmadou M. ; 2015. Contribution au développement d'un dispositif robuste de détection d'huiles essentielles à concentration contrôlée. Université de Lorraine.
- Garçon L-A. ; 2015.. Développement de langue électronique : étude de mélanges complexes et de bactéries. Matériaux. Université Grenoble Alpes.
- Genua M. ; 2013. Combinatorial surface-based electronic tongue development : Analytical application and conception of 2D and 3D biometric surfaces. Université de Grenoble.
- Holley A. ; 1999. Eloge de l'odorat. E-Book. Editeur Odile Jacob. 276 pages.
- Kimball B-A., Yamazaki K., Kohler D., Bowen R-A., Muth J-P., Opiekun M., Beauchamp G-K. ; 2013. Avian Influenza Infection alters fecal odor in Mallards. PLoS ONE 8(10) : e75411. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075411>
- Le Cun Y. ; 2016. Les enjeux de la Recherche en Intelligence Artificielle. Chaire informatique et sciences numériques 2015-2016.
- Loutfi A., Coradeschi S., Kumar Mani G., Shankar P. et Bosco Balaguru Rayappan J. ; 2015. Electronic noses for food quality : A review. Journal for Food Engrineering 144. P 103-111.
- Lvova L., Jahatspanian I., Mattoso L-H-C., Correa D-S., Oleneva E., Legin A., Di Natale C. et Paolesse R. ; 2020. Potentiometric E-Tongue system for Geosmin/Isoborneol presence monitoring in drinkable water. Sensors, 20, 821.
- Rita Di Rosa A., Leone F., Chiofalo V. ; 2020. Electronic noses and tongues. Chemical Analysis of Food (second edition) Techniques et Applications. Pages 353-389.
- Robin J., Cravedi J-P., Hillenweck A., Deshayes C., Vallod D. ; 2006. Off flavor characterization and origin in French trout farming ». Aquaculture 260 : 128-38.
- Ruch P-W., Hu R., Capua L., Temiz Y., Paredes S., Lopez A., Barroso J., Cox A., Nakamura E. et Matsumoto K. ; 2019. A portable potentiometric electronic tongue leveraging smartphone and cloud platforms, IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN), Fukuoka, Japan, pp. 1-3.
- Son M., Cho D-G., Hyun Lim J., Park J., Hong S., Jin Ko H., Park T-H. ; 2015. Real-time monitoring of geosmin and 2-méthylisoborneol, representative odor compounds in water using bioelectronic nose with human-like performance. Biosensors and bioelectronics 74. p199-206.
- Wasilewski T., Migon D., Gebicki J. et Kamysz W. ; 2019. Critical review of electronic nose and tongue instruments prospects in pharmaceutical analysis. Analytica Chimica Acta 1077. P14-29.
- Woertz K., Tissen C., Kleinebudde P. and Breitzkreutz J., 2011. Taste sensing systems (electronic tongues) for pharmaceutical applications. International journal of pharmaceutics. 417(1): p. 256-271.

## Abstract : Electronic Nose and tongues : *What is the potential for development in the fish and poultry sectors?*

The breeder uses all his senses to assess the condition of his animals. Sight, hearing, smell and touch provide valuable informations that is not always easy to objectify. The development of new technologies in animal husbandry allows to bring a complement to the senses of the breeder. The interest and the implementation of electronic noses and tongues are today little explored for applications in breeding, unlike imaging (sight) and acoustics (hearing) which already have applications in poultry farming. Two applications of the electronic nose in poultry farming could be the objectification of olfactory nuisances and the detection of droppings infected by a specific virus. In fish farming, the electronic tongue would be interesting to detect the presence of off-flavor in water. The objectives of this paper are to review the initiatives related to electronic nose and tongue technologies and to identify their advantages and disadvantages to meet the needs of the poultry and fish farming industries. Multi-sensors modules, such as noses, seem to be a promising and low-cost alternative for odor measurement, but their sensitivity to humidity remains a major constraint for a use in poultry farming. Electronic tongues are currently expensive laboratory tools and difficult to implement for on farm measurments, but developments are moving in the direction of miniaturization of these technologies to make them more easily transportable.