

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

**ÉVALUATION DU POTENTIEL D'USAGE DES NEZ
ELECTRONIQUES DANS LE SUIVI DES ODEURS**

***EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF ELECTRONIC
NOSES IN THE MONITORING OF ODORS***

mai 2020

E. LEFRANÇOIS – ECO IN'EAU
N. BALGOBIN, J. CARIMALO – CNRS - C'NANO
C. CHANEAC – Sorbonne université – C'NANO



Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.

Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et institutionnels) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Évaluation du potentiel d'usage des nez électroniques dans le suivi des odeurs, 2020, 143 p, n°18-0167/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2020

RESUME

Les différents enjeux liés aux problématiques d'odeur ont gagné en importance ces dernières années. En effet, les nuisances olfactives incommoderaient de 13 à 20% de la population européenne (Merlen, 2017), et sont, avec le bruit, les sources de plaintes les plus importantes en Europe au XXIème siècle. Afin de répondre à la demande sociétale, la réglementation sur la qualité de l'air a évolué et considère maintenant les odeurs comme des pollutions. Dans le même temps, diverses méthodes d'évaluation des odeurs, instrumentales ou basées sur les jurys de nez humains, se sont développées, encadrées par des normes, encore en cours d'amélioration.

En 1982, à l'Université de Warwick, un nouveau dispositif, appelé « nez électronique » a été créé, associant une série de capteurs non spécifiques à un système automatisé de reconnaissance, permettant l'interprétation du signal intégré fourni par les capteurs. L'appellation « nez électronique » s'explique par l'analogie existant entre la technologie et le système olfactif humain, les capteurs jouant le rôle des récepteurs olfactifs et le système de traitement informatique remplaçant le cerveau. Cependant, cette appellation s'avère plutôt source de promesses trompeuses, la première étant que les nez électroniques ne peuvent distinguer les molécules odorantes parmi l'ensemble des composés volatiles auxquels ils sont sensibles. Il n'en demeure pas moins que ces instruments présentent certains avantages qui peuvent être valorisés en fonction des objectifs visés, des conditions environnementales et des moyens techniques et humains déployés.

Cette étude, a été l'occasion de réaliser un état de l'art de la technologie des nez électroniques et d'évaluer leur potentiel d'usage dans le suivi des odeurs. Elle comprend trois grandes parties : un état de l'art relatif aux nez électroniques, une analyse du marché et une étude de trois cas concrets. 40 entretiens ont été conduits avec les différents acteurs de la filière afin de mieux appréhender les divergences entre d'un côté les messages véhiculés par la littérature et les discours commerciaux, et de l'autre les retours d'expérience d'utilisateurs de nez électroniques.

MOTS CLES

Nez électronique, odeur, nuisances olfactives, suivi des odeurs, composés organiques volatils

SUMMARY

Nowadays, 13 to 20% of the European population consider the olfactory annoyance as an important issue (Merlen, 2017), which is, with noise, the most important source of complaints in Europe in the 21st century. In order to meet the societal demand, the regulation on air quality has evolved and now considers odors as pollution. At the same time, several odor monitoring methods have been developed. These methods are based on a sensory approach using olfactory analysis or a physico-chemical approach associated to instrumental measurements. Standards have also been created to frame these methods and are still being improved.

A new device called "electronic nose" was created in 1982, at the University of Warwick. This instrument combined a series of non-specific sensors with an automated recognition system, allowing the interpretation of the integrated signal provided by the sensors. The term "electronic nose" emerged according to the analogy between the technology and the human olfactory system, the sensors playing the role of olfactory receptors and the computer processing system replacing the brain. However, because an electronic nose cannot distinguish the odorant molecules among the set of volatile compounds, this term is rather a source of misleading promises. Nevertheless, these instruments can be useful if they are used according to the objectives, the environmental conditions and the available technical and human resources.

This study was the opportunity to realize a state of the art on eNose technology and evaluate the potential of use of these instruments in the odor monitoring. The study is organized in 3 main parts: a state of the art relating to electronic noses, a market analysis and a study of 3 examples. 40 interviews were conducted with various actors in order to better compare the messages from the literature and sales pitch and user feedbacks.

KEY WORDS

Electronic nose; odor; olfactory nuisance; odor monitoring; volatile organic compounds

Contexte et objectifs

La pollution atmosphérique aurait provoqué plus de 100 millions de décès anticipés au XX^{ème} siècle, et d'après l'Organisation Mondiale de la Santé, près d'un décès prématuré sur huit lui serait imputable (Solidarité-Santé-gouv.fr, 2018). Ce constat explique que les préoccupations relatives à la qualité de l'air n'aient cessé de croître ces dernières années. Les odeurs ont longtemps été considérées comme des nuisances sans conséquences pour la santé humaine et souvent négligées pour des raisons d'ordres anthropologiques et culturels. Cependant, la tendance actuelle à relocaliser les activités industrielles à proximité des lieux d'habitation, afin de ne pas consommer de terres arables et, parallèlement, la densification de l'habitat urbain font que les odeurs prennent une place de plus en plus importante dans la vie quotidienne des populations. Il a également été montré que l'exposition à des odeurs a des impacts sur le bien-être et la santé humaine. Les nuisances olfactives incommoderaient de 13 à 20% de la population européenne (Merlen, 2017), et sont, avec le bruit, les sources de plaintes les plus importantes en Europe au XXI^{ème} siècle. Cette évolution sociétale s'est traduite dès 1996 par une évolution de la réglementation qui stipule que « *toute substance susceptible de provoquer des nuisances olfactives excessives* » est considérée comme une pollution à part entière (article L. 220-2 du code de l'environnement). De fait, de nombreuses activités industrielles doivent considérer leur impact olfactif au même titre que celui d'autres émissions dans le milieu naturel (distances minimales à respecter, seuils imposés de débits d'odeurs nécessitant une surveillance, mise en place de mesures d'atténuation, connaissance de l'état initial et étude d'impact de l'activité). Ces évolutions ont naturellement entraîné l'intérêt des industriels et des chercheurs pour les techniques de détection, d'identification et de quantification des odeurs qu'elles soient réalisées par des jurys de nez humains ou par des instruments comme les nez électroniques. Bien que le premier nez électronique soit apparu en 1982, le concept reste souvent difficile à appréhender pour les utilisateurs, la technologie controversée et les retours d'expérience rares.

C'est ce constat qui a justifié la présente étude dont les objectifs sont les suivants :

- Réaliser un état des lieux des connaissances concernant les nez électroniques et évaluer leur niveau de maturité pour une application *in situ* ;
- Évaluer le potentiel d'application des nez électroniques dans les environnements publics et industriels, intérieurs comme extérieurs ;
- Analyser de façon critique les techniques et méthodologies disponibles.

Méthodologie et plan de l'étude

Pour répondre aux objectifs de cette étude, une analyse bibliographique a été menée et complétée par une quarantaine d'entretiens avec les acteurs académiques et socio-économiques dont l'activité est en lien avec la surveillance des odeurs ou l'industrialisation, la commercialisation et l'utilisation de nez électroniques. Une étude du marché des nez électroniques, recensant les acteurs et les produits commercialisés ou en cours de développement à l'échelle européenne et mondiale a ensuite été conduite.

Un état de l'art sur la réglementation en cours et ses évolutions a également été réalisé afin de contextualiser le développement technique et commercial des nez électroniques. Enfin, trois contextes d'applications différents ont été détaillés et ont permis d'exprimer les besoins, les contraintes des

Context and Objectives

Air pollution caused more than 100 million anticipated deaths in the 20th century, and according to the World Health Organization, almost one in eight premature deaths (Solidarité-Santé-gouv.fr, 2018). This is why concerns over air quality have grown steadily in recent years. Odors have been considered as a nuisance without consequences for human health and often neglected for anthropological and cultural reasons. However, the current trend to relocate industrial activities near places of habitation, in order to preserve arable land and, at the same time, the densification of urban housing make odors more and more important for citizens. Recently, exposure to odors has also been shown to have an impact on human well-being and health. Odor nuisance would affect 13 to 20% of the European population (Merlen, 2017), and are, with noise, the most significant sources of complaints in Europe in the 21st century. This societal evolution was reflected in 1996 by an evolution of the regulations which stipulates now that "any substance likely to cause excessive odor nuisance" is considered as pollution in its own right (article L. 220-2 of the environment code). In consequences, many industrial activities must consider their olfactory impact in the same way as other emissions in the natural environment (minimum distances to be respected, imposed odor flow thresholds requiring monitoring, implementation of mitigation measures, knowledge of the initial state and monitoring of the activity impacts). These developments have naturally drawn the interest of industrialists and scientists for the techniques of detection, identification and quantification of odors whether they are carried out by juries of human noses or by instruments such as electronic noses. Although the first electronic nose appeared in 1982, the concept is often difficult to understand for users, the technology is still controversial and the feedbacks are scarce.

All these observations justified this study that aims to:

- *Carry out an inventory of knowledge concerning electronic noses and assess their level of maturity for an in situ application;*
- *Evaluate the application potential of electronic noses in public and industrial environments, both indoor and outdoor;*
- *Critically analyze the available techniques and methodologies.*

Study methodology and plan

To meet these objectives, a bibliographic analysis was conducted and supplemented by about forty interviews with academic and socio-economic stakeholders involved in odor monitoring or industrialization, marketing and use of electronic noses. Then, a study of the electronic nose market was conducted. The commercialized products and main development programs were identified at a European and global scale.

A state of the art on the current regulations and their evolutions was also carried out in order to contextualize the technical and commercial development of electronic noses.

Finally, three different application examples were detailed in order to express the needs, the constraints of users, the advantages and disadvantages of different odor measurement methods and the electronic nose relevance in three varied contexts:

- *Odor fence line monitoring on an industrial site;*

utilisateurs, les avantages et inconvénients des différentes méthodes de mesure des odeurs et l'intérêt des nez électroniques dans ces contextes variés :

- Suivi des odeurs sur site industriel : à l'émission et en limite de site ;
- Suivi des odeurs de vie dans des véhicules ou espaces partagés

Les informations et données recueillies ont été organisées selon le plan suivant :

1 L'introduction reprend les objectifs de l'étude et la méthodologie adoptée.

2 Le chapitre « Contexte et périmètre de l'étude » concerne les notions qui sont nécessaires à la bonne compréhension du sujet : qualité de l'air et nuisance olfactive, biologie de l'odeur et système olfactif, historique et définition du nez électronique. Il détaille aussi les aspects réglementaires actuels et à venir du sujet.

3 Le chapitre « Principes technologiques d'un nez électronique » définit les différents modules qui composent un nez électronique, leur fonction et leurs interactions.

4 Celui sur la « Dynamique de la recherche » aborde les principaux aspects de la recherche sur les nez électroniques (informations fournies par la bibliographie, principaux projets et équipes de recherche) dans le but d'en mesurer le dynamisme.

5 L'analyse du « Marché des nez électroniques » a permis de comprendre l'organisation de la filière et des différents acteurs qui la composent, les secteurs d'application des nez électroniques, qu'ils soient théoriques ou effectifs et les projections d'application. Les principaux nez électroniques commercialisés y sont recensés ainsi que leurs caractéristiques techniques disponibles. Pour compléter ces aspects technico-commerciaux, les différentes méthodes dites concurrentes, qui sont en fait plutôt complémentaires aux nez électroniques ont été présentées.

6 Le chapitre « Étude de cas » a été l'occasion de rendre compte des différents témoignages d'usage des nez électroniques que ce soit parmi les membres du COPIL de l'étude ou des usagers interrogés.

7 Enfin une discussion issue de la bibliographie et des témoignages recueillis a permis de mettre en évidence les principales « Limites et perspectives » de l'usage des nez électroniques.

8 Conclusion

Les principaux résultats obtenus

Le nez électronique diffère des autres instruments dédiés à la mesure des composés chimiques car il est conçu pour détecter et mesurer une odeur, c'est-à-dire un mélange complexe de composés odorants. Ils ne sont pas conçus pour déterminer la composition exacte du gaz étudié mais plutôt pour identifier la source de l'émission, l'impact à la réception, ou encore pour détecter et distinguer des gaz odorants spécifiques présents au sein d'un mélange (Wilson 2013).

Les nez électroniques sont constitués de réseaux miniaturisés de capteurs à large spectre, constitués de surfaces sensibles variées (polymères conducteurs, polymères à empreinte moléculaire, oxydes métalliques, nanotubes de carbone, etc.), dont certaines propriétés sont modifiées en présence de molécules odorantes. Ces surfaces sensibles sont couplées à un transducteur (électrochimique, optique, électrique, gravimétrique, etc.) qui génère, après traitement du signal, une signature, ou empreinte, caractéristique de l'environnement odorant. Cette signature est ensuite analysée et comparée à une base de données obtenue lors d'une phase d'apprentissage. La concentration d'odeur (en unité d'odeur/m³ == UOE/m³) ne peut qu'être calculée sur la base d'une relation

- *Monitoring of odor emissions on an industrial site;*
- *Odor monitoring in shared vehicles or shared spaces.*

The collected information and data were organized according to the following plan:

1. *The introduction summarizes the objectives of the study and the adopted methodology.*

2. *In the chapter "Context and scope of the study", several concepts were taken up for a better understanding of the subject: Air quality and odor nuisance, odor biology and olfactory system, history and definition of the electronic nose. It also details the current and future regulatory aspects.*

3. *The chapter "Technological principles of an electronic nose" defines the different modules that make up an electronic nose, their function and their interactions.*

4. *The one on "Research dynamics" addresses the main aspects of research on electronic noses (information provided by the bibliography, main research programs and teams) in order to measure the sector dynamism.*

5. *The analysis of the "Electronic nose market" addresses the sector organization and the different involved stakeholders, the application sectors of electronic noses, whether theoretical or actual, and the projections of application. The main commercialized electronic noses are listed as well as their technical characteristics when available. To complete these technical and commercial aspects, the competing methods are presented. Their complementarity with electronic noses is discussed.*

6. *The chapter "Case study" is the opportunity to explore different use of electronic noses, through the COPIL members or interviewed users experiences.*

7. *Finally, a discussion based on the bibliography and on the collected testimonies highlights the main "Limits and perspectives" of the use of electronic noses.*

8. Conclusion

The main results

The electronic nose differs from other instruments dedicated to the measurement of chemical compounds because it is designed to detect and measure an odor, which is a complex mixture of odorous compounds. The electronic noses are not designed to determine the exact composition of the mixture but rather to identify the source of the emission, the distant impact, or to detect and distinguish specific odorous gases present in a mixture (Wilson 2013).

Electronic noses are made up of miniaturized networks of broad spectrum sensors, made up of various sensitive surfaces (conductive polymers, molecular imprint polymers, metal oxides, carbon nanotubes, etc.), which are modified in the presence of odorous molecules. The sensitive surface is linked to an electrochemical, optical, electrical or gravimetric transducer which generates, after processing the signal, a signature, or smellprint, which is characteristic of the odorous environment. This signature is then analyzed and compared to reference smellprints recorded during a learning phase. The odor concentration expressed in odor unit/m³ (UOE/m³) can only be calculated on the basis of a correlation relation between the intensity of the measured signal and the results of previously established olfactometric measurements.

The term "electronic nose" refers to the human olfactory system, with sensors playing the role of olfactory receptors and the computer processing system replacing the brain (Sambemana 2012) (Figure 1).

de corrélation entre l'intensité du signal mesuré et les résultats de mesures olfactométriques préalablement établies.

L'appellation « nez électronique » renvoie au système olfactif humain, les capteurs jouant le rôle des récepteurs olfactifs et le système de traitement informatique remplaçant le cerveau (Sambemana 2012) (Figure 1).

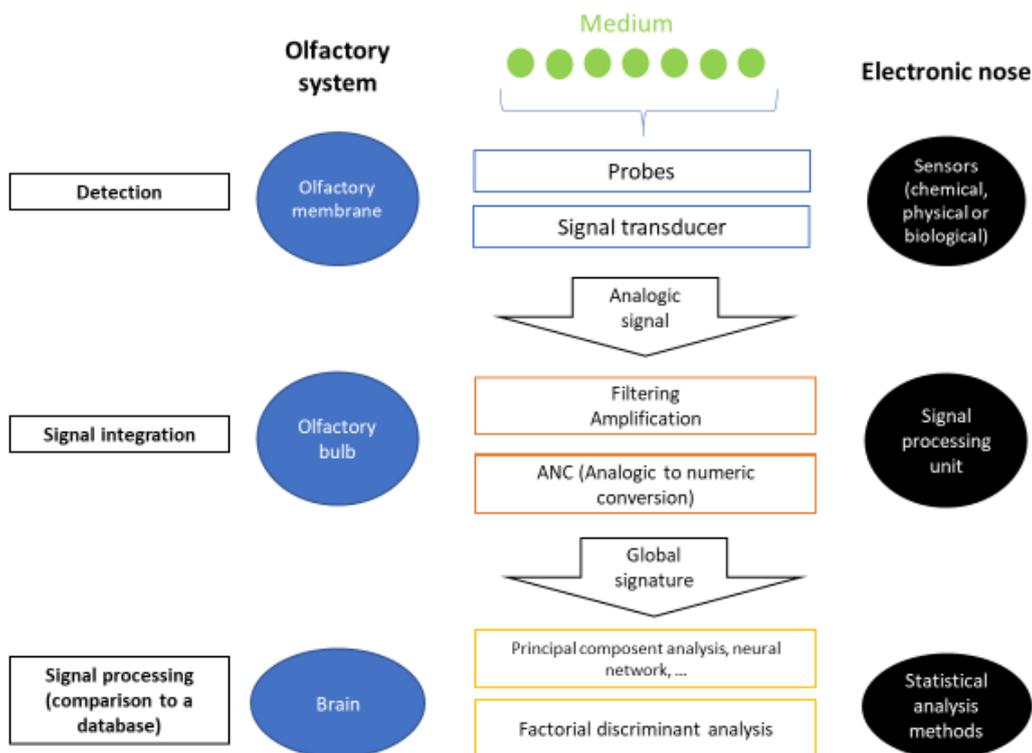


Figure 1. The operation principle of an electronic nose compared to the olfactory system's principle (RECORD 2020)

Les performances et donc l'usage des nez électroniques dépendent essentiellement du type de capteurs choisis et du type de signal émis par le transducteur, des méthodes mises en œuvre pour l'intégration, l'amplification et la filtration des signaux au niveau de l'unité de traitement du signal et enfin des algorithmes choisis pour associer la signature globale à une odeur archivée dans la base de référence.

Les usages des nez électroniques sont divers et touchent à des secteurs d'applications aussi variés que l'industrie agroalimentaire, l'agriculture, l'environnement (monitoring des odeurs à proximité des sites industriels), le secteur médical, la sécurité civile ou encore la surveillance des fraudes (Figure 2). Cependant, beaucoup de ces applications restent encore à l'état de recherche ou de développements expérimentaux en lien avec les utilisateurs, et n'ont pas encore abouti à un usage en routine (Wasilewski, 2016).

Les principaux retours d'expérience positifs concernent la surveillance des odeurs à la source ou en limite de site industriels (usines de traitement ou centre d'enfouissement des déchets, stations de traitement des eaux usées ou industrielles, industries chimique et pétrochimique, industries minières). Pour un usage en limite de site industriel, les conditions favorables à l'emploi d'un nez électronique restent encore assez restrictives (niveaux d'odeurs élevés, disponibilité de personnel). En effet, pour garantir des résultats fiables et exploitables, plusieurs conditions doivent être réunies : une maintenance rigoureuse, un apprentissage performant et donc long, associant de nombreuses analyses olfactométriques comparatives, représentatives de toutes les conditions d'usage de l'appareil, la

The performance and therefore the use of electronic noses mostly depends on the type of sensors, the implemented methods for the integration, amplification and filtration of signals at the signal processing unit level and, finally, the chosen algorithms to associate the global signature with an odor that has been archived in the reference database.

The uses of electronic noses are various. The main application's sectors are the food industry, agriculture, environment (monitoring of odors on industrial sites), the medical sector and the civil security (drug and explosive material detection) (Figure 2). As many of these applications are still experimental or at a development stage with users, there are few routine uses of electronic noses (Wasilewski, 2016).

The main positive feedback is related to the monitoring of odor emission or at the industrial site fence (waste treatment plants or landfill, wastewater or industrial water treatment plants, chemical and petrochemical industries, mining industries). In case of odor detection at the industrial site fence, the use of an electronic nose is still fairly restrictive (high odor levels, available staff). In order to guarantee reliable and usable results, several conditions must be met: rigorous maintenance, efficient learning based on numerous comparative olfactometric analyses which should be representative of all the device conditions of use. To be useful, an electronic nose network should be sufficiently dense and alerts should be followed by relevant actions.

mise en œuvre d'actions adaptées en cas d'alerte, des ressources financières permettant d'installer et d'entretenir un réseau suffisamment dense.

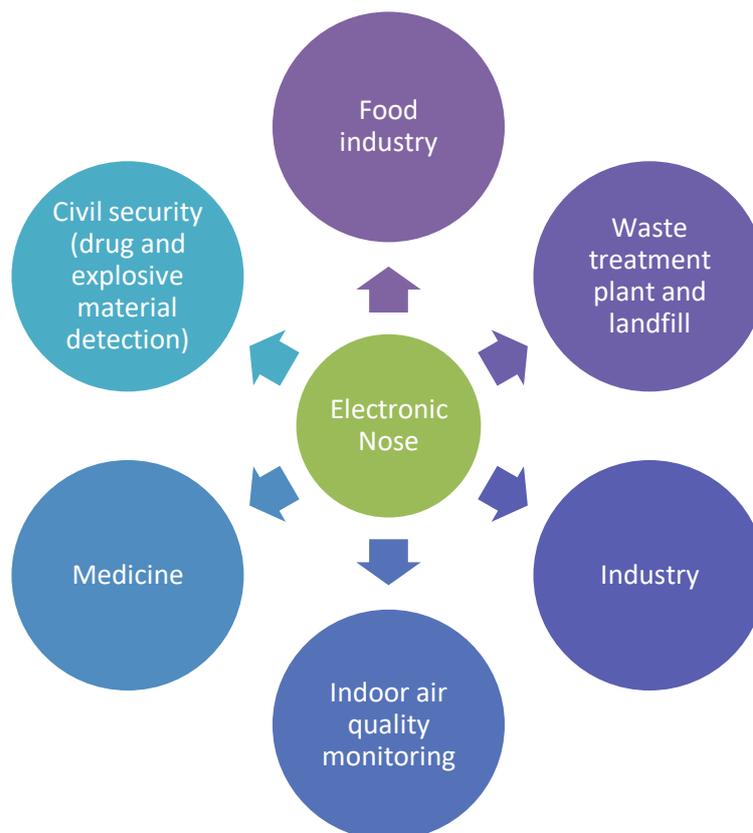


Figure 2. Applications' sectors of electronic noses (RECORD 2020)

Analyse et commentaire de ces résultats

Bien que les nez électroniques soient souvent présentés comme des outils peu coûteux et faciles à utiliser, permettant la détection, l'identification et la mesure des odeurs en continu dans de nombreux secteurs d'activités, ils ne sont pas si fréquemment employés en routine.

Une des raisons est **réglementaire**. La mesure des odeurs, en France, est régie par la norme européenne EN13725 (CEN/TC264 2003) actuellement en cours de révision, la norme française NF X 43 103, la norme européenne EN 16841 (partie 1 et 2) (CEN/TC 264 2016a; 2016b) et la norme européenne EN 15259 (CEN/TC 264 2007). Ces normes ne considèrent que l'olfactométrie comme méthode sensorielle de mesure des odeurs et précisent les différentes étapes qui aboutissent à la mesure d'une odeur. Une nouvelle norme dédiée à la mesure instrumentale des odeurs est actuellement en cours d'élaboration au sein du groupe de travail 41 du comité européen de normalisation et devrait être publiée d'ici 2024. Cette nouvelle norme devrait améliorer la fiabilité des nez électroniques et réduire les incertitudes liées à leur usage mais cela s'accompagnera vraisemblablement de contraintes supplémentaires pour les fabricants et les usagers. De plus la méthode de référence pour la quantification des odeurs en UOE/m³ restera l'olfactométrie dynamique telle qu'elle est décrite par la norme européenne EN13725.

Les autres raisons couramment invoquées par les utilisateurs sont les **performances** souvent décevantes des nez électroniques, qui dépendent de leurs caractéristiques techniques :

Analysis and commentary of these results

Although electronic noses are often pointed out as inexpensive and easy-to-use tools for the continuous detection, identification and measurement of odors in many industries, they are not used so routinely.

One of the reasons is **regulatory**. The measurement of odors in France is governed by the European standard EN13725 (CEN / TC264 2003) currently being revised, the French standard NF X 43 103, the European standard EN 16841 (part 1 and 2) (CEN / TC 264 2016a; 2016b) and the European standard EN 15259 (CEN / TC 264 2007). These standards consider only olfactometry as the reference method of measuring odors and specify the different stages of this measurement method. A new standard dedicated to the instrumental measurement of odors is currently being developed within the working group 41 of the European committee for standardization and should be published by 2024. This new standard should improve the reliability of electronic noses and reduce the uncertainties, but this will probably come with additional constraints for manufacturers and users. In addition, the reference method for quantifying odors in UOE/m³ will remain dynamic olfactometry as described by European standard EN13725.

Users commonly complain about electronic nose **performances**, related to their technical characteristics:

- Low sensitivity, incompatible with the odor levels at site fence;

- Faible sensibilité, incompatible avec les niveaux d'odeurs rencontrés sur le terrain ;
- Faible spécificité (inférieure à la spécificité du nez humain surtout quand les niveaux d'odeurs sont faibles) ;
- Faible reproductibilité des résultats obtenus par des appareils différents qui compromet leur usage dans le contrôle qualité mais aussi pour la surveillance environnementale de plusieurs sites ;
- Mauvaise représentativité des résultats obtenus ;
- Difficultés liées à la calibration et l'interprétation des résultats ;
- Durée de la période d'apprentissage ;
- Phénomènes de dérive important liés à la sensibilité des appareils à l'humidité et la température ;
- Nécessité d'une maintenance régulière (tous les 6 mois en général)
- Durée de vie limitée des capteurs, dont le changement nécessite une nouvelle calibration et une nouvelle période d'apprentissage.

Ces limites sont observables pour l'ensemble des produits disponibles sur le marché, et freinent leur utilisation en routine. De plus, l'apprentissage est une étape longue et fastidieuse qui doit être renouvelée régulièrement du fait de la durée de vie limitée des capteurs

Une autre raison possible est peut-être d'ordre **commercial**, en lien avec la manière dont les nez électroniques sont ou ont été vendus et perçus par les usagers potentiels. Les premiers nez électroniques ont été vendus comme des appareils à bas coûts, capables de rivaliser avec les capacités sensorielles humaines. Or, cette analogie est trompeuse car un nez électronique ne peut distinguer les gaz volatiles odorants de ceux qui ne le sont pas. De même il ne peut pas identifier une odeur mais au mieux la classer correctement comme proche d'une odeur préalablement enregistrée en base de référence. L'influence des gaz non odorants comme le classement optimal des mélanges de gaz analysés sont gérés par des algorithmes qui doivent être adaptés à chaque condition environnementale et aux besoins de l'utilisateur final. Ceci nécessite des efforts importants lors de la mise en place d'un réseau de nez qui ne doivent pas être sous-estimés au risque d'obtenir des résultats qui se montreront erronés et décevants.

Néanmoins, lorsqu'ils sont utilisés à bon escient et que l'utilisateur est conscient des avantages et limites ainsi que des conditions d'utilisation des nez électroniques, ils peuvent fournir des données utiles. Le réseau de nez électronique du port de Rotterdam en est un bon exemple : il est équipé de nez électroniques fournis par Comon Invent (Delft, The Netherlands). L'expérience a été lancée par la Rijnmond Environmental Protection Agency (DCMR) en 2009 et a été jugée suffisamment satisfaisante pour être pérennisée. De plus le port s'est porté acquéreur du réseau qui compte maintenant 250 nez électroniques, répartis sur plusieurs communes hébergeant de nombreuses activités industrielles et commerciales. Ce réseau permet une surveillance en continu et en temps réel d'un vaste territoire où les sources potentielles de pollutions olfactives (chimiques) sont nombreuses. Il ne détecte ni ne mesure une odeur mais déclenche une alarme en cas de variation du signal, ce qui permet aux gestionnaires du port de réagir au plus vite. L'identification de l'odeur par comparaison à la base de référence est fournie à titre indicatif. Les données fournies ne sont pas publiques contrairement aux données acquises par des techniques de référence (PID, GC-MS...) qui équipent, en parallèle, une quinzaine de sites. Même si le logiciel dédié à l'interprétation des données, en particulier la modélisation des panaches et la triangulation des sources, est jugé améliorable, ce réseau est jugé très satisfaisant pour

- *Low specificity (lower than the human nose specificity, especially when odor levels are low);*
- *Low reproducibility of the results which compromises their use in quality control but also for multisite environmental monitoring;*
- *Poor representativeness of the results;*
- *Difficulties related to the device calibration and the result interpretation;*
- *Duration of the learning period;*
- *Significant drift phenomena related to the sensitivity of the devices to humidity and temperature variations;*
- *Need for regular maintenance (generally every 6 months)*
- *Limited lifetime of the sensors, knowing that the replacement of a sensor requires a new calibration and a new learning period.*

These limits are observable for all the products available on the market, and hamper their routine use. In addition, learning is a long and tedious step which must be repeated regularly due to the limited lifetime of the sensors.

*Another possible reason may be **commercial**, related to the way electronic noses are or have been sold and perceived by potential users. The first electronic noses were sold as inexpensive devices mimicking human olfaction. Or this analogy is deceptive because an odor is a feeling and an electronic nose can't distinguish odorous volatile gases from non-odorous ones. Likewise, it cannot identify an odor but only classifies it close to an odor previously recorded in the reference database. The influence of non-odorous gases as well as the optimal classification of the analyzed gas mixtures is ensured by algorithms which must be adapted to each environmental condition and to the needs of the final user. This requires significant efforts when setting up a nose network otherwise delivered data would be disappointing.*

However, when used wisely and the user is aware of the advantages and limits as well as their conditions of use, the electronic noses can provide useful data. The port of Rotterdam network is a good example: the port area is equipped with electronic noses supplied by Comon Invent (Delft, The Netherlands). The experience was launched by the Rijnmond Environmental Protection Agency (DCMR) in 2009 and was found to be satisfactory enough to be sustained. In addition, the port has acquired the network which now includes 250 electronic noses, distributed over several municipalities hosting many industrial and commercial activities. This network allows continuous monitoring in real time of a large territory where potential emissions are numerous. It does not detect or measure an odor but triggers an alarm if the signal changes, which allows port managers to react as quickly as possible. The identification of the odor by comparison with the reference data base is provided for information. The data provided are not public. On contrary, fifteen sites equipped with an electronic nose are regularly sampled and reference techniques implemented (PID, GC-MS ...). Even if the software dedicated to the interpretation of data, in particular the modeling of plumes and the triangulation of emission sources, could be improved, this network is considered to be very satisfactory for early detection of olfactory nuisances and remediation actions.

The technical limits and real indications of electronic noses are now better known, which allows a more rational use of these tools. The next standard should specify technical capabilities, calibration and learning methods, and how to assess the uncertainties of the measured data. This should

détecter précocement les nuisances olfactives et pouvoir y remédier.

Les limites techniques et les réelles indications des nez électroniques sont aujourd'hui mieux connues ce qui permet un usage plus rationnel de ces outils. La prochaine norme encadrant les capacités techniques, les méthodes de calibration et d'apprentissage, et les moyens de connaître et de vérifier les incertitudes des données mesurées, devrait également favoriser l'usage pertinent des nez électroniques. De nouvelles voies de recherche concernant chaque bloc technologique des nez électroniques devraient également permettre d'améliorer leurs performances :

- Les nanobiosenseurs (capteurs utilisant des récepteurs olfactifs) ;
- L'amélioration des performances des capteurs MOS : développement de nouveaux matériaux sensibles nanostructurés, développement de nouvelles méthodes de transduction ;
- L'amélioration des méthodes de traitement du signal grâce aux progrès de l'intelligence artificielle.

Conclusions

Les nez électroniques ne constituent pas l'outil idéal, rapide, bon marché, facile à utiliser, capable de détecter et de mesurer une odeur en continu pour lequel ils ont souvent été vendus. Cependant, bien que de multiples incertitudes se nichent à chaque étape du processus, ce qui, au final, se manifestent par une faible répétabilité, reproductibilité et robustesse des résultats fournis par les nez électroniques, ils permettent de surveiller, en continu, l'évolution des mélanges de composés volatiles complexes et de contribuer à en définir l'origine. Leur faible coût fait qu'il est intéressant de les intégrer dans des réseaux plus ou moins denses pour surveiller un territoire où de multiples activités industrielles cohabitent. Loin de remplacer les autres méthodes et instruments de surveillance des odeurs et pollutions de l'air, ils peuvent constituer des outils d'alerte et apporter des éléments de compréhension lors d'épisodes odorants aux côtés des autres méthodes disponibles. Ils ont donc leur place au sein de la boîte à outils des gestionnaires de la surveillance des odeurs et c'est bien dans ce sens que les travaux visant la rédaction de la nouvelle norme sur la mesure instrumentale des odeurs ont été conduits. De plus, la recherche, active dans ce domaine, et les retombées d'autres domaines de recherche (intelligence artificielle, nanotechnologies), laissent espérer que les limites technologiques des nez électroniques seront repoussées dans les prochaines années.

finally encourage the relevant use of electronic noses. Actual research on each technological block of electronic noses should also improve their performance:

- *Nanobiosensor (sensors using olfactory receptors) development;*
- *Improvement of the MOS sensor performances: development of new nanostructured sensitive materials and new transduction methods;*
- *Improvement of signal processing methods thanks to artificial intelligence progress.*

Conclusion

Electronic noses are not the ideal tool, fast, cheap, easy to use, able to continuously detect and measure an odor for which they have often been sold. However, although multiple uncertainties are nested at each stage of the process, leading to a low repeatability, reproducibility and robustness of the results provided by the electronic noses, they are very useful to continuously monitor complex volatile emissions and find their source. As they remain low cost devices, it's interesting to integrate them into more or less dense networks to monitor an area where multiple industrial activities coexist. Far from replacing the other methods and instruments for odor and air pollution monitoring, they are good alert tools and allow a better understanding of odorous episodes alongside other available methods. They have their place in the toolbox of odor monitoring managers. The new standard on instrumental odor measurement that has been carried out should promote this idea. In addition, specific research on electronic noses and research in other fields (AI, nanoscience) should push back the technological limits of electronic noses in the coming years.

Bibliographie / Bibliography

- CEN/TC 264. 2016a. « NF EN 16841-1 : Air ambiant - Détermination de la présence d'odeurs par mesures de terrain - Partie 1 : méthode de la grille - Air ambiant - Détermination de l'exposition aux odeurs par mesures de terrain - Partie 1 : méthode de la grille ».
- . 2016b. « NF EN 16841-2 : Air ambiant - Détermination de la présence d'odeurs par mesures de terrain - Partie 2 : méthode du panache - Air ambiant - Détermination de l'exposition aux odeurs par mesures de terrain - Partie 2 : méthode du panache ».
- CEN/TC264. 2003. « NF EN 13725 : Qualité de l'air - Détermination de la concentration d'une odeur par olfactométrie dynamique ».
- Sambemana, Herizo. 2012. « Adaptation d'un nez électronique pour le contrôle de la concentration et de l'humidité d'une atmosphère chargée en huile essentielle destinée à un effet thérapeutique médical. » Université de Lorraine. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749225>.
- Wilson, Alphonse D. 2013. « Diverse applications of electronic-nose technologies in agriculture and forestry ». *Sensors (Basel, Switzerland)* 13 (2): 2295- 2348. <https://doi.org/10.3390/s130202295>.