

**Document**

# Développement d'un capteur de mesure en continu du taux de formaldéhyde dans l'air intérieur : application au contrôle de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants

Romain FRANÇOIS

Séverine MARGERIDON-THERMET

Farhad ABEDINI

Sylvain COLOMB

ETHERA, 628 rue Charles de Gaulle, 38920 Crolles, France

Katarzyna RAULIN

ETHERA, CEA-Saclay, bldg 451, 91191 Gif/Yvette, France

## Résumé

Le décret 2015-1000 et les arrêtés du 1<sup>er</sup> juin 2016 ont récemment modifié les modalités de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments recevant du public en France. Les collectivités peuvent désormais mettre en œuvre un programme de prévention axé sur la mise en place de bonnes pratiques. Dans le cas où des mesures de qualité de l'air intérieur sont envisagées, les collectivités sont désormais libres de réaliser ces mesures par elles-mêmes à l'aide de kits disponibles sur le marché. Ethera présente ici comment a été développé et validé le nouvel enregistreur de la qualité de l'air intérieur NEMO, et notamment son capteur de mesure du taux de formaldéhyde. La particularité de ce capteur est de pouvoir mesurer le taux de formaldéhyde en continu sur une période de prélèvement allant de un à sept jours (pas de temps de mesure : 2 heures).

Un exemple concret illustre comment ce nouvel appareil (qui mesure également le taux de CO<sub>2</sub>, la température, l'humidité relative et la pression) permet d'apporter une nouvelle dimension dans le diagnostic de la QAI, et comment il peut être utilisé pour mettre en place des bonnes pratiques, comme le suggère le nouveau dispositif réglementaire de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants.

Il sera démontré que la mesure en continu du taux de formaldéhyde permet de calculer l'exposition réelle au formaldéhyde des personnes pour la période d'occupation des locaux investigués. Elle permet également d'apprécier : les cycles jour/nuit

où les concentrations peuvent être très différentes (notamment pour les établissements équipés de ventilations mécaniques asservies sur la présence ou le taux de CO<sub>2</sub>), les activités émettrices et les effets de la mise en place de bonnes pratiques. Il s'ensuit la possibilité d'optimiser les cycles d'aération/ventilation, afin de garantir une bonne qualité d'air pendant l'occupation des locaux et de maximiser les économies d'énergie pendant les périodes d'absence. En cela, ce nouveau dispositif apporte une richesse d'informations supérieure aux méthodes cumulatives conventionnelles.

## Mots-clés

Air, instrumentation, formaldéhyde, mesure colorimétrique, mesure continue, capteur chimique, qualité de l'air intérieur, matrices nanoporeuses, sol-gel.

## 1. Introduction

La Qualité de l'Air Intérieur (QAI) est devenue depuis quelques années un enjeu sociétal très important. La pollution de l'air se caractérise par la présence d'un ensemble de polluants d'origine chimique (composés organiques volatils, particules fines, oxydes d'azote ou de carbone) et biologique (moisissures, acariens) (Cartieaux,

2011). Principalement issue des matériaux modernes (moquettes, peintures, parquets...), la pollution chimique est aussi influencée par la présence de moisissures, par les activités humaines et par l'air extérieur (Palot, 2008). Aujourd'hui, la pollution chimique est exacerbée par l'étanchéité croissante des bâtiments, dans un contexte d'efficacité énergétique prédominant (Yu, 2009).

Cette problématique a été identifiée comme prioritaire par les collectivités publiques, notamment en France dans le cadre du Grenelle de l'environnement, et plusieurs décrets ont été adoptés pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (décrets 2011-1727 ; 2011-1728 ; 2012-14 ; 2015-1000 ; 2015-1926).

Le décret 2015-1000 et les arrêtés du 1<sup>er</sup> juin 2016 ont récemment modifié les modalités de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments recevant du public en France. Les collectivités peuvent désormais mettre en œuvre un programme de prévention axé sur la mise en place de bonnes pratiques : amélioration des conditions de renouvellement de l'air, sélection de produits de construction et de décoration étiquetés A+, etc. Dans ce cas, si des mesures de qualité de l'air intérieur sont envisagées, ce décret supprime l'obligation de faire appel à des organismes accrédités COFRAC et facilite la réalisation de mesures en élargissant la gamme d'appareils de mesure pouvant être utilisés par les personnels des collectivités ou les bureaux d'études (MEDDE, 2015).

La surveillance de la qualité de l'air intérieur est généralement basée sur des mesures du

taux de CO<sub>2</sub> pour le confinement, ainsi que du taux de formaldéhyde et de benzène pour les composés toxiques principaux (respectivement caractéristiques des sources intérieures et extérieures). Parmi ces composés, seul le CO<sub>2</sub> est actuellement mesuré en continu. Pour le formaldéhyde et le benzène, les contraintes technico-économiques ont mené à des mesures intégrées plusieurs jours (4,5 jours pour les écoles ; 7 jours pour les logements) Kirchner, 2006). Or ces mesures intégrées présentent de nombreuses limites. Entre autres, elles ne sont pas représentatives de l'exposition réelle des occupants, dont la présence dans les locaux investigués n'est pas permanente, et ne permettent pas l'identification des pics de pollution et des activités émettrices associées.

Pour s'affranchir de ces inconvénients, Ethera, fabricant de dispositifs de mesure de la qualité de l'air intérieur, a mis au point un système équipé d'un capteur mesurant en continu et à moindre coût le taux de formaldéhyde dans l'air. Ce nouveau capteur se base sur la technologie de mesure innovante et exclusive développée par Ethera (sous licence CEA/CNRS) Chevallier, 2012). Cette technologie est basée sur des matériaux nanoporeux ultrasensibles. La lecture optique directe des capteurs tout au long de l'exposition permet de diagnostiquer efficacement la qualité de l'air intérieur à des concentrations de l'ordre du µg/m<sup>3</sup> (ppb<sup>1</sup>).

Nous rappelons ci-dessous, pour le formaldéhyde et le confinement, les différentes valeurs de comparaison servant à établir les diagnostics de la qualité de l'air intérieur :

1 1 µg/m<sup>3</sup> = 1,23 ppb pour le formaldéhyde.

| Formaldéhyde          |  | Confinement  |  |
|-----------------------|--|--------------|--|
| Concentration         | Information  | Indice ICONE | Informations                           |
| 10 µg/m <sup>3</sup>  | VGAI* pour une exposition de longue durée à compter du 1 <sup>er</sup> janvier 2023 <sup>[1]</sup>   | 0-1-2        | Confinement nul à moyen <sup>[2]</sup> |
| 30 µg/m <sup>3</sup>  | VGAI* pour une exposition de longue durée à compter du 1 <sup>er</sup> janvier 2015 <sup>[1]</sup>   | 3            | Confinement élevé <sup>[2]</sup>       |
| 50 µg/m <sup>3</sup>  | VGAI court terme pour une exposition de 2 heures <sup>[3]</sup> // valeur maximale admissible pour une exposition de longue durée <sup>[4]</sup> | 4            | Confinement très élevé <sup>[2]</sup>  |
| 100 µg/m <sup>3</sup> | valeur d'action rapide <sup>[1]</sup>  | 5            | Confinement extrême <sup>[2]</sup>     |

\*VGAI : Valeur Guide pour l'Air Intérieur ; [1] (MEDDE, 2015) ; [2] (J. Riberon, 2012) ; [3] (AFFSET, 2008) ; [4] (HCSP, 2009).

Tableau 1.  
Liste des différentes  
valeurs de comparaison  
pouvant être trouvées  
dans la littérature.

## 2. Description du dispositif de mesure en continu du formaldéhyde

Le dispositif de mesure est composé d'un matériau nanoporeux réagissant avec le formaldéhyde et dont la densité optique augmente lors de cette réaction. Celui-ci est associé à un système de détection optique permettant de mesurer la variation de densité optique du matériau dans le temps.

### 2.1. Présentation du système commercialisé : NEMo



Figure 1.  
NEMo

NEMo est un enregistreur portable de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI) mesurant en continu le formaldéhyde (HCHO) grâce au système présenté ci-dessus. Il mesure également le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), la température, la pression, et l'humidité relative. Cet appareil discret est compact (175 x 95 x 75 mm), léger (450 gr), silencieux et fonctionne sur batterie afin de ne pas perturber les usagers des locaux investigués. NEMo est associé au logiciel Profil'Air® Manager, permettant le téléchargement et le traitement des données de mesure ainsi que l'édition de rapports. Il est notamment possible de renseigner les heures de présence réelles des occupants pendant le prélèvement et de calculer automatiquement l'indice de confinement (ICONE) (J. Ribéron, 2012) et l'exposition réelle au formaldéhyde (concentration moyenne pendant les heures de présence).

### 2.2. Performances métrologiques du capteur de mesure du formaldéhyde

L'évaluation des performances métrologiques du dispositif de mesure a été réalisée en Chambre de Simulation Atmosphérique (CSA). Ce capteur a été qualifié pour des concentrations en formaldéhyde comprises entre 0 et 100 ppb, des humidités relatives comprises entre 20 et 80 % et des températures comprises entre 20 et 40 °C. Pour toutes les expériences, les monolithes (matériau nanoporeux) étaient placés dans les enregistreurs NEMo, eux-mêmes disposés dans la CSA et soumis au flux de formaldéhyde. Six appareils ont été utilisés pour chaque essai.

Cette étude a montré que ce capteur est linéaire sur la gamme 0-100 ppb de formaldéhyde. Sa répétabilité est de 2 %. L'erreur de justesse moyenne sur l'intégralité de la gamme de mesure est de 12 % par rapport aux mesures Radiello® et inférieure à 2 % par rapport aux mesures Supelco®. À noter que l'incertitude de chaque méthode rentre en compte dans ces calculs, ce qui explique que l'erreur de justesse moyenne mesurée par rapport à la méthode Radiello® soit plus élevée. En effet, la méthode Radiello® présente une incertitude de 30 % *versus* 15 % pour la méthode Supelco®. À noter que les ajustements linéaires ont été contraints pour passer par l'origine.

La limite de quantification a été estimée à 1 ppb sur un temps de prélèvement < 4 heures (fonction de la concentration mesurée)

## 3. Étude technique *in situ* et apport du système pour la compréhension des milieux intérieurs

### 3.1. Description des sites étudiés

Les deux sites étudiés sont des écoles primaires ayant des systèmes de ventilation différents : la première est un Bâtiment Basse Consommation (BBC) récent, équipé d'un système asservi sur la présence de public. La deuxième école est plus ancienne et repose sur une ventilation naturelle. Les mesures ont été réalisées pendant la dernière semaine de l'année scolaire 2014-2015, soit

du lundi 29/06/2015 au lundi 06/07/2015. Lors de cette période particulièrement chaude, les températures extérieures minimales journalières étaient comprises entre 15,3 et 20,1 °C, et les températures extérieures maximales journalières comprises entre 31,1 et 36,5 °C. Pour toutes les pièces, les NEMo étaient suspendus à une distance d'environ 50 cm du plafond et le plus au centre de la pièce possible en évitant les zones exposées aux courants d'air (portes, fenêtres, bouches de ventilation...) et les zones directement éclairées par le soleil. Les principales sources de pollutions au formaldéhyde étaient les matériaux de constructions (sols, murs, plafonds) et les meubles (tables, chaises, armoires principalement). À noter la présence dans les pièces de matériel d'arts plastiques (crayons, feutres, colles...). Le nettoyage était réalisé chaque matin avant l'arrivée des élèves, et les

pièces étaient aérées pendant ces opérations.

### 3.2. Étude technique *in situ*

Dans la première école, les données enregistrées par trois appareils NEMo placés dans une seule classe permettent d'étudier la répétabilité de la mesure en conditions réelles. Le tableau 2 résume les résultats des enregistrements NEMo confrontés aux résultats des mesures conventionnelles passives par prélèvements DNPH à l'aide de cartouches Radiello®.

On note, pour la campagne menée dans l'école n° 1, une très bonne répétabilité dans les concentrations obtenues sur 7 jours par les

| Ecole n° 1 à ventilation asservie à la présence du public |                  |                  |             |             |                            |                            |                |                                  |               |
|---|------------------|------------------|-------------|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------------------------|---------------|
| Salles  | Date/heure début | Date/heure fin   | Durée (jrs) | Durée (min) | T moyenne [min ; max] (°C) | HR moyenne [min ; max] (%) | type de mesure | [HCHO] moyenne [min ; max] (ppb) | écart relatif |
| Salle 20, NEMo 1  | 29/06/2015 14:45 | 06/07/2015 08:45 | 6,8         | 9720        | 27,5 [25,5 ; 29,5]         | 55,4 [44 ; 61]             | Radiello       | 50,2                             | 23,9%         |
|   |                  |                  |             |             |                            |                            | NEMo           | 62,2 [0 ; 129,9]                 |               |
| Salle 20, NEMo 2  | 29/06/2015 14:45 | 06/07/2015 08:45 | 6,8         | 9720        | 27,1 [25,5 ; 29,0]         | 54,9 [44 ; 61]             | Radiello       | 50,2                             | 21,8%         |
|   |                  |                  |             |             |                            |                            | NEMo           | 61,1 [0 ; 128,09]                |               |
| Salle 20, NEMo 3  | 29/06/2015 14:45 | 06/07/2015 08:45 | 6,8         | 9720        | 27,8 [26,0 ; 29,5]         | 54,5 [45 ; 60]             | Radiello       | 50,2                             | 27,4%         |
|   |                  |                  |             |             |                            |                            | NEMo           | 63,9 [0 ; 124,4]                 |               |
| Ecole n° 2 à ventilation naturelle                        |                  |                  |             |             |                            |                            |                |                                  |               |
| Salles  | Date/heure début | Date/heure fin   | Durée (jrs) | Durée (min) | T moyenne [min ; max] (°C) | HR moyenne [min ; max] (%) | type de mesure | [HCHO] moyenne [min ; max] (ppb) | écart relatif |
| Salle A   | 29/06/2015 16:00 | 06/07/2015 08:15 | 6,7         | 9615        | 27,6 [25,0 ; 31,0]         | 51,2 [39 ; 60]             | Radiello       | 24,8                             | 18,1%         |
|   |                  |                  |             |             |                            |                            | NEMo           | 29,3 [0 ; 47,5]                  |               |
| Salle B   | 29/06/2015 16:00 | 06/07/2015 08:15 | 6,7         | 9615        | 29,1 [26,5 ; 31,0]         | 45,6 [37 ; 55]             | Radiello       | 16,3                             | 5,9%          |
|   |                  |                  |             |             |                            |                            | NEMo           | 17,3 [0 ; 33,4]                  |               |
| Salle C   | 29/06/2015 16:00 | 06/07/2015 08:15 | 6,7         | 9615        | 27,9 [25,5 ; 31,5]         | 50 [36 ; 58]               | Radiello       | 22,5                             | -5,4%         |
|   |                  |                  |             |             |                            |                            | NEMo           | 21,3 [0 ; 58,5]                  |               |

Tableau 2.  
Résultats des mesures réalisées en classe.

systèmes NEMo positionnés dans une même classe, qui est de 2 %.

L'écart relatif moyen sur 7 jours par rapport à la mesure de référence Radiello est de 24,4 % dans l'école n° 1 et de 9,8 % dans l'école n° 2. Cet écart montre une très bonne corrélation entre les deux systèmes de mesure.

### 3.3. Apport du système pour la compréhension des milieux intérieurs

Le but de cette étude est de comparer les informations obtenues avec des méthodes de mesures intégrées sur 4,5 jours, telles que Radiello®, avec celles obtenues avec NEMo, afin de mettre en évidence l'apport de cette nouvelle technologie de mesure dans les diagnostics des environnements intérieurs.

#### 3.3.1. Méthode

Afin de pouvoir comparer les informations obtenues avec le dispositif proposé, d'une part, et avec les méthodes de mesures moyennées sur 4,5 jours, d'autre part, nous avons réalisé :

- un prélèvement de 4,5 jours à l'aide du dispositif Radiello® (prélèvement conforme à la norme NF ISO 16000-4 avril 2006, désorption chimique, analyse par HPLC) ;
- un prélèvement de 7 jours avec NEMo.

Les mesures NEMo étant réalisées en continu, il est possible de sélectionner *a posteriori* dans Profil'Air® Manager une ou des périodes d'intérêt, afin de connaître la concentration en

formaldéhyde sur ces périodes particulières. Trois périodes d'intérêt ont été étudiées :

- période I : du 29/06/15 15h19 au 06/07/15 8h44, soit l'intégralité du prélèvement ;
- période R : du 29/06/15 15h19 au 03/07/15 16h00, correspondant à la période du prélèvement sur le support Radiello® ;
- période P : période correspondant aux heures de présence des élèves (voir paragraphe 4.3.1).

À noter que, de par sa définition (J. Riberon, 2012), l'indice ICONE peut uniquement être calculé sur la période P.

#### 3.3.2. Résultats et diagnostic

##### 3.3.2.1. Cas d'une école avec une ventilation mécanique asservie à la présence

Les essais ont été réalisés dans l'école 1 décrite au paragraphe 3.1 (ventilation mécanique asservie à la présence). Les horaires des cours sont les suivants : lundi, mardi, jeudi et vendredi de 8h45 à 11h45, puis de 13h45 à 16h00 ; mercredi de 8h45 à 11h45.

Les résultats obtenus sont illustrés par le tableau 3 et les figures 2 et 3. Ceux-ci sont donnés en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour pouvoir être plus facilement comparés aux valeurs guides de l'air intérieur données dans cette unité et rappelées dans le tableau 1. Pour rappel, dans le cas du formaldéhyde, 1 ppb équivaut à  $1,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

##### 3.3.2.2. Évolution du taux de

|           | Mesure Radiello®                 | Mesure NEMo                   | Indice ICONE |
|-----------|----------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Période I | Non mesurée                      | 85.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | -            |
| Période R | 48.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   | 52.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | -            |
| Période P | Non calculable par cette méthode | 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 0            |

Tableau 3.

Résultats des mesures pour les différentes périodes d'intérêt dans la salle 15 de l'école 1.

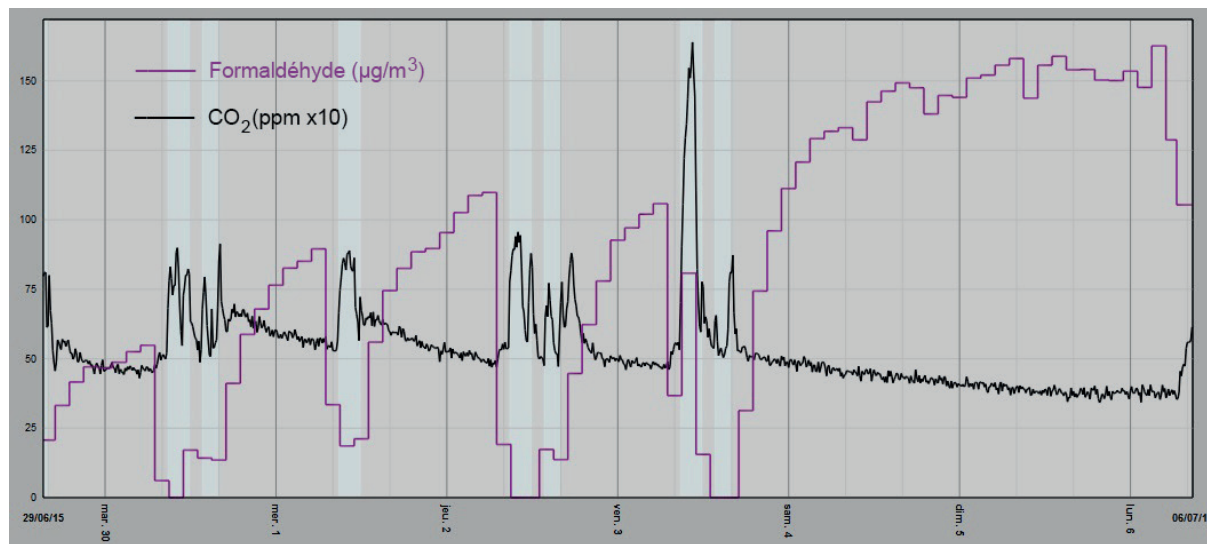


Figure 2.  
Concentrations en formaldéhyde et en CO<sub>2</sub> obtenues avec NEMo dans la salle 15 de l'école 1. Les heures de présence des élèves sont représentées par les colonnes bleu clair.

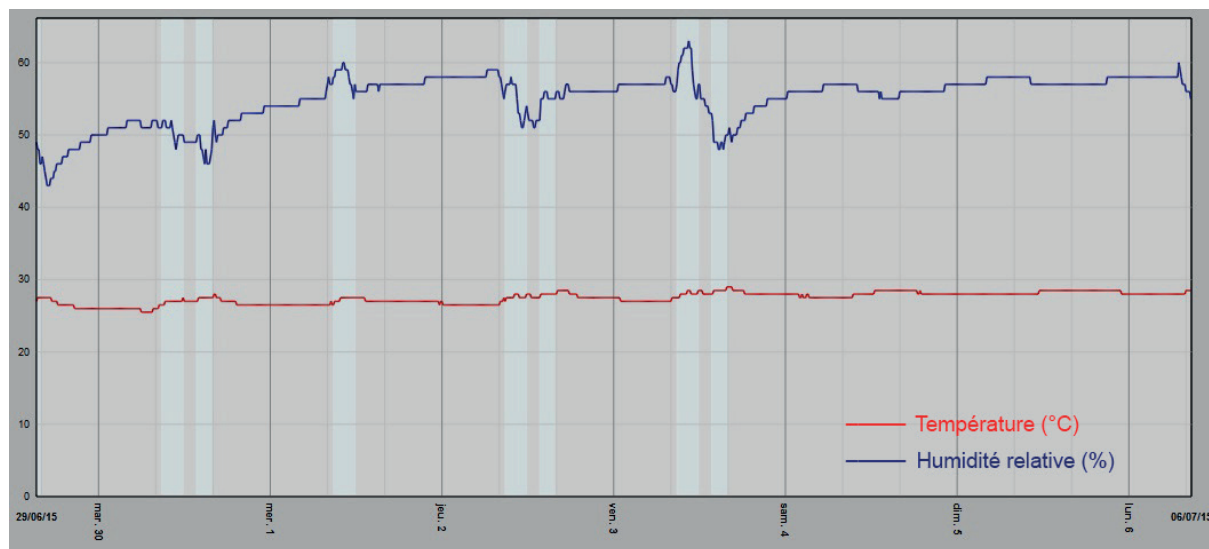


Figure 3.  
Paramètres environnementaux obtenus avec NEMo dans la salle 15 de l'école 1, donnés à titre informatif uniquement. Les heures de présence des élèves sont représentées par les colonnes bleu clair.

### CO<sub>2</sub> dans la pièce

Dans les établissements scolaires, la présence de CO<sub>2</sub> est principalement due à la présence de personnes. En effet, l'air expiré est très fortement concentré en CO<sub>2</sub>. Dans cette école, le taux de CO<sub>2</sub> évolue de façon assez classique. La journée, la présence des élèves et

du personnel enseignant fait augmenter le taux de CO<sub>2</sub>. Les valeurs maximales atteintes lors de l'utilisation normale de la salle de classe sont de l'ordre de 1 000 ppm. Cette valeur somme toute raisonnable montre que la ventilation fonctionne correctement. Pendant la nuit, les personnes étant absentes, il n'y a plus de source de CO<sub>2</sub>. Le taux de CO<sub>2</sub> est alors proche du bruit de fond de

l'air ambiant, situé autour de 400 ppm.

L'indice ICONÉ (Indice de CONfinement dans les Écoles), calculé à partir de la mesure du taux de CO<sub>2</sub> pendant les heures de présence des élèves uniquement, est égal à 0, ce qui montre que la ventilation mécanique assure un bon renouvellement de l'air pendant l'occupation des locaux.

### 3.3.2.3. Évolution du taux de formaldéhyde dans la pièce

La mesure moyennée sur 4,5 jours donne une concentration de 48,63 µg/m<sup>3</sup>. D'après le tableau 1, l'établissement est pollué au formaldéhyde à une concentration une fois et demi supérieure à la valeur guide actuelle, et proche de la valeur maximale admissible pour une exposition de longue durée. La concentration dans cet établissement doit donc être diminuée pour atteindre une valeur inférieure à 30 µg/m<sup>3</sup>. Les moyens de remédiation classiques dans ce cas sont : soit de surventiler jusqu'au retour à la normale, soit de réaliser des travaux pour réduire les sources de pollution. Pour le premier cas, cela va à l'encontre de la nature même du bâtiment basse consommation censé réduire les pertes énergétiques. Dans le second cas, cela implique de remplacer des matériaux pourtant récents (< 3 ans). Dans les deux cas, le coût pour le propriétaire de l'établissement n'est pas négligeable.

Le diagnostic du même établissement est réalisé à partir des mesures continues obtenues avec NEMO. NEMO permet de calculer l'exposition réelle au formaldéhyde des occupants d'une pièce en donnant la concentration en formaldéhyde sur la période P. L'exposition réelle des élèves mesurée est 17,2 µg/m<sup>3</sup>. Cette valeur est en dessous de la valeur guide actuelle de 30 µg/m<sup>3</sup>, ce qui signifie que la qualité de l'air intérieur pendant les périodes de présence est satisfaisante. Le diagnostic obtenu grâce à la mesure continue est donc différent de celui obtenu par la mesure moyennée sur 4,5 jours. Plus problématique, le diagnostic avec la méthode moyennée sur 4,5 jours peut pousser le propriétaire de l'établissement à réaliser des travaux coûteux mais inutiles. Cet écart s'explique par le fait qu'une mesure intégrée ne peut pas être représentative de l'exposition de personnes ne fréquentant pas l'établissement sur l'ensemble de la période de prélèvement (cas des ERP, bureaux, habitations). Ce type de mesure entraîne donc obligatoirement une incertitude

sur le diagnostic final, contrairement à la mesure continue qui permet d'obtenir un diagnostic fiable.

La mesure continue permet également de comprendre pourquoi un tel écart existe sur ce cas de figure. La figure 2 fait clairement apparaître que la concentration en formaldéhyde dans la pièce n'est pas constante tout au long de la semaine. La présence de cycles jour/nuit, où la concentration est faible pendant la journée et élevée la nuit, s'explique par le fait que la ventilation est déclenchée par un capteur de présence (100 % du débit nominal pendant la présence des élèves et du personnel (journée), 10 % du débit nominal en leur absence (nuit)).

Ce phénomène est accentué par les bonnes pratiques mises en place dans l'établissement, à savoir une aération des pièces lors du nettoyage des locaux ayant lieu avant l'arrivée des élèves. L'effet de cette aération sur la concentration en formaldéhyde se traduit sur la courbe de la figure 2 par la diminution brutale du taux de formaldéhyde ayant lieu tous les matins aux alentours de 7h00 (sauf weekend et lundi 06/07/2015, premier jour des vacances scolaires).

On peut également remarquer la présence d'une activité émettrice le 03/07/2015 entre 10h et 12h. Pendant cette période, deux classes d'élèves ont été regroupées dans la même salle pour faire des activités d'arts plastiques, générant un pic de CO<sub>2</sub> par leur nombre et un pic de formaldéhyde dû à l'utilisation du matériel d'arts plastiques. Cependant, la présence de ce pic ne rentre pas en compte dans l'écart entre les deux diagnostics.

Cet exemple concret montre comment NEMO permet d'apporter une nouvelle dimension dans le diagnostic de la QAI, et pourquoi il est particulièrement adapté à la mise en place du nouveau dispositif réglementaire de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants.

## 4. Conclusions

Ethera a développé un enregistreur de la qualité de l'air intérieur qui intègre, entre autres, le nouveau capteur de mesure du formaldéhyde basé sur la technologie innovante et exclusive des capteurs nanoporeux développée par Ethera (sous licence CEA/CNRS). La particularité de ce capteur est de proposer une mesure

du formaldéhyde en continu sur la période de prélèvement (1 à 7 jours). Cet article a montré comment cette technologie de mesure apporte une nouvelle dimension dans le diagnostic de l'air intérieur en permettant de calculer l'exposition réelle des personnes occupant les locaux. Elle permet également d'apprécier : les cycles jour/nuit où les concentrations peuvent être très différentes (notamment pour les établissements équipés de ventilations mécaniques asservies sur la présence ou le taux de CO<sub>2</sub>), les activités émettrices et les effets de la mise en place de bonnes pratiques. Il s'ensuit la possibilité d'optimiser les cycles d'aération/ventilation, afin de garantir une bonne qualité d'air pendant l'occupation des locaux et

de maximiser les économies d'énergie pendant les périodes d'absence. Cela démontre qu'il est possible de concilier bonne qualité de l'air intérieur et performance énergétique. En cela, le nouveau dispositif d'Ethera, NEMo, apporte une richesse d'informations supérieure aux méthodes cumulatives conventionnelles.

*Ethera remercie BPI France, la Région Rhône-Alpes, le Conseil général de l'Isère et la Ville de Grenoble pour leur soutien financier au travers des programmes et projets LIFE, COV-KO et COVADIS.*

## Références

- AFFSET. (2008). Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs. Toxicité du formaldéhyde. État des connaissances sur la caractérisation des dangers et choix des valeurs toxicologiques de référence.
- Calvo-Munoz M. (2002). Chemical sensors of monocyclic aromatic hydrocarbons based on sol-gel material : synthesis, structural characterization and molecular interactions. *Journal of Materials Chemistry*, n° 12, p. 461 - 467.
- Cartieaux M. (2011). Qualité de l'air à l'intérieur des écoles. *Archives de Pédiatrie*, n° 18, p. 789-796.
- Chevallier E. (2012). Development of a formaldehyde chemical sensor for indoor air quantification : application in health and safety at work. *Ventilation*.
- HCSP. (2009). *Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le formaldéhyde*.
- KIRCHNER S. (2006). *Campagne nationale logements : état de la qualité de l'air dans les logements français*. OQAI.
- MEDDE. (2015). Guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants.
- Palot A. (2008). Composés organiques volatils intérieurs : concentrations, sources, facteurs de variabilité. *Mal Respir*, n° 25, p. 725-730.
- Riberon J. (2012). Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs.
- Yu BF. (2009). Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. *International journal of refrigeration*, n° 32, p. 3-20.