



**HAL**  
open science

## Suivi et prédiction de la qualité de l'air intérieur

Nadège Blond, Corentin Berger, Jean-Luc Ponche, Didier Hauglustaine, Alice Micolier, Maxence Mendez

### ► To cite this version:

Nadège Blond, Corentin Berger, Jean-Luc Ponche, Didier Hauglustaine, Alice Micolier, et al. (Dir.). Suivi et prédiction de la qualité de l'air intérieur. 25, 2022. <hal-03968886>

**HAL Id: hal-03968886**

**<https://hal.science/hal-03968886v1>**

Submitted on 1 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

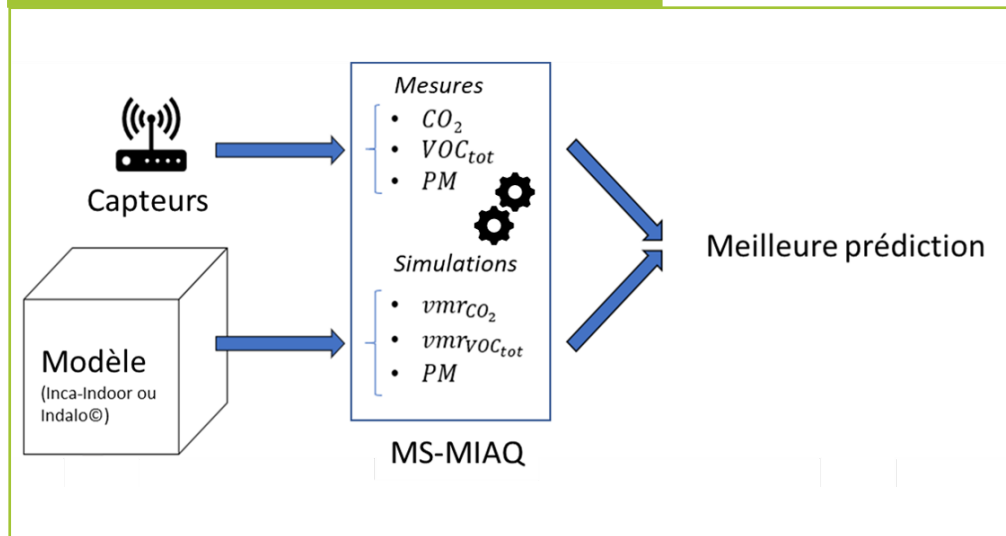
L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## Suivi et prédiction de la qualité de l'air intérieur

Schéma récapitulatif des recherches menées et de leurs résultats



Nous passons environ 90 % de notre temps dans des environnements intérieurs (à la maison, dans les transports, au travail, dans les lieux de loisirs et de commerces). Nous y sommes exposés à une grande diversité de polluants nocifs pour notre santé : composés organiques volatiles (COVs) ou semi-volatiles (COSVs), composés inorganiques (oxyde d'azote, etc.), aérosols. Ces polluants sont issus des matériaux de construction et de décoration, peuvent avoir été transportés de l'extérieur vers l'intérieur *via* la ventilation, les aérations ou infiltrations du bâtiment ou formés à l'intérieur par des réactions chimiques. Les occupants en sont aussi à l'origine : en utilisant des parfums ou par leurs activités diverses comme la cuisine ou le ménage. L'air est ainsi parfois plus pollué à l'intérieur qu'à l'extérieur.

### Les diagnostics de la qualité de l'air intérieur

Les diagnostics de la qualité d'air intérieur peuvent être menés en amont de la conception ou rénovation

d'un bâtiment. Ils sont utilisés pour choisir les matériaux de construction et le système de ventilation afin de limiter la pollution de l'air à la délivrance du bâtiment. Cependant, rien ne garantit que la qualité de l'air soit assurée à l'usage du bâtiment. Les diagnostics en phase d'exploitation des bâtiments peuvent alors s'appuyer sur des mesures in-situ. Ces dernières sont effectuées soit à l'aide d'appareils de mesure précis, mais ceux-ci sont coûteux, soit avec des microcapteurs beaucoup moins onéreux, mais aussi beaucoup moins précis. Les polluants mesurables sont peu nombreux :

- Ozone
- oxydes d'azote
- particules  $PM_{2.5}$
- $PM_{10}$
- total de COVs.

Selon le budget consacré, la qualité de l'air intérieur peut être ainsi caractérisée sur des temps plus ou moins longs.

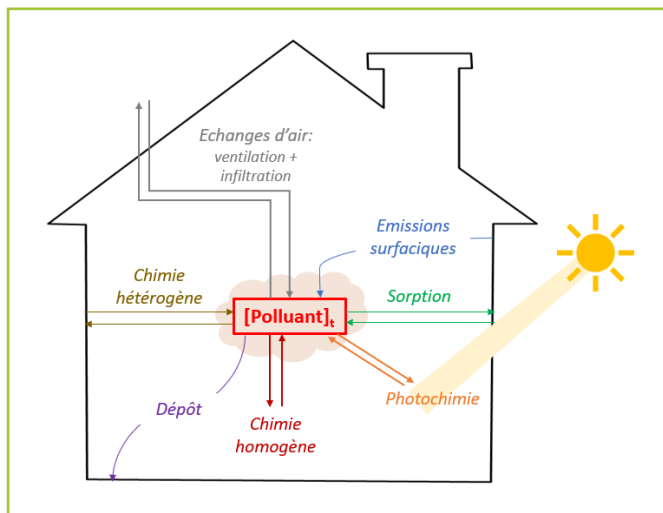


Figure 1 : Processus physico-chimiques simulés par le modèle INCA-Indoor (Mendez et al., 2015). ©Corentin Berger, 2022.

## Un nouveau défi

Les mesures ne permettent pas de prédire les expositions à venir des occupants. En effet, des variations dans l'occupation du bâtiment, des changements d'activités au sein et autour du bâtiment font fortement varier la qualité de l'air intérieur. Ainsi prévoir la qualité de l'air intérieur sur une multitude de polluants à la fois et dans un contexte fluctuant est encore un défi. Ce défi a constitué le travail de la thèse de Corentin Berger au Laboratoire Image Ville Environnement, financé par l'ADEME, Octopus Lab, le fonds de dotation AIR et la ZAEU.

## Un modèle de la qualité de l'air intérieur

Le modèle INCA-Indoor est développé au sein de la ZAEU pour simuler les niveaux intérieurs de polluants et appuyer les diagnostics de la qualité de l'air intérieur. Il a été initié dans le cadre du projet

ADEME PRIMEQUAL MERMAID (2013-2015, Schoemaeker *et al.*, 2016) pour comprendre et détailler les phénomènes physico-chimiques en air intérieur. La Figure 1 montre les processus simulés par le modèle.

Le modèle simule un millier de réactions chimiques, et les concentrations d'environ 900 espèces chimiques (gaz ou aérosols) à partir d'informations concernant :

- le bâtiment : son volume, ses surfaces, ses matériaux, sa ventilation, la température et humidité intérieure ;
- l'occupation et les activités au sein du bâtiment ;
- l'environnement du bâtiment (pollution de l'air extérieur).

La Figure 2 montre l'évolution temporelle du nombre de particules et de leur diamètre moyen, observés et simulés avec le modèle INCA-Indoor à la suite d'un épisode de nettoyage d'une paillasse dans une salle de classe du projet MERMAID. Le produit ménager émet un gaz : le d-limonène. La réaction de ce dernier avec l'ozone produit de très petites particules dans l'air. Ces petites particules peuvent se regrouper pour former de plus grosses particules (le nombre de particules décroît, leurs diamètres augmentent) et grossir grâce à la condensation de gaz à leur surface (la masse des particules et leurs diamètres augmentent). Plus les particules sont petites, plus elles pénètrent dans le système respiratoire.

Nous avons ainsi vérifié les performances du système de modélisation à reproduire une formation d'aérosols, l'évolution du nombre et du diamètre des particules produites. Ces paramètres sont très importants pour faire des études d'impacts de la pollution de l'air sur la santé. Ce travail a été effectué en environnement non contrôlé, sans présence d'occupants, ce qui a permis de vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble de la chaîne de modélisation avant son exploitation dans un cas réel en présence d'occupants.

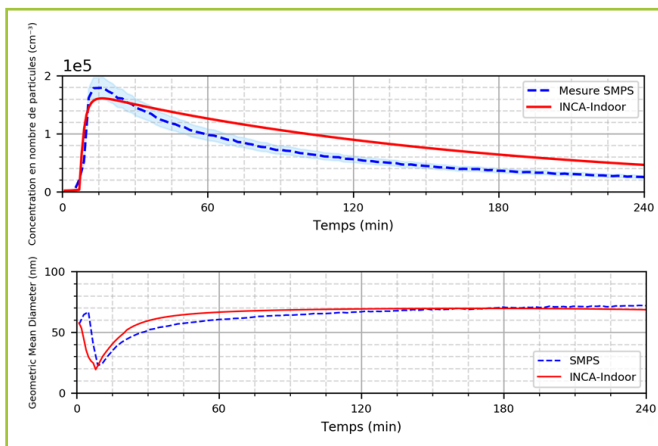


### Quelques informations

- ♦ **INCA-Indoor** : logiciel permettant de simuler les concentrations de polluants gazeux et aérosols au sein d'un bâtiment.
- ♦ **Octopus Lab ([www.octopuslab.fr](http://www.octopuslab.fr))** : start-up qui fait de la prédiction de la qualité de l'air intérieur en phase de conception/rénovation des bâtiments, ainsi que

durant leur phase d'exploitation, avec les logiciels INDALO®, INDALO-Supervision et INDALO-Covid, qui intègre le modèle INCA-Indoor.

- ♦ **PRIMEQUAL** : PRogramme de Recherche Interorganisme pour une MEilleure QUALité de l'air mis en œuvre par le Ministère chargé de l'Environnement et par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).



**Figure 2 : Evolution du nombre et du diamètre des particules, observés et simulés avec le modèle INCA-Indoor ©Berger, 2022.**

## MS-MIAQ : une solution de suivi de bâtiments occupés

La méthodologie MS-MIAQ (Measure-Modelling for Monitoring Indoor Air Quality) est développée de manière à capturer les grandes variabilités temporelles de la qualité de l'air intérieur dans des bâtiments occupés. Ces variabilités sont liées aux fluctuations engendrées par les occupants, leurs activités et l'environnement du bâtiment. La méthodologie prédit alors la pollution de l'air intérieur sur un panel important de polluants. Elle combine les mesures de micro-capteurs (peu coûteux et faciles à déployer) ayant une haute résolution spatio-temporelle, avec les simulations du modèle INCA-Indoor, qui prédit la qualité de l'air intérieur. Dans le cas où les mesures des capteurs indiquent que les prévisions du modèle conduisent à des erreurs, des corrections sont proposées. L'enjeu est d'être en mesure d'anticiper les changements éventuels dans le fonctionnement du bâtiment pour mieux prévoir la qualité de son air intérieur. A terme, cela permettra aussi de trouver les solutions pour limiter l'exposition des occupants à la pollution de l'air.

## Un suivi opérationnel de la qualité de l'air intérieur

Le projet MIAQ a proposé un cadre d'évaluation des performances

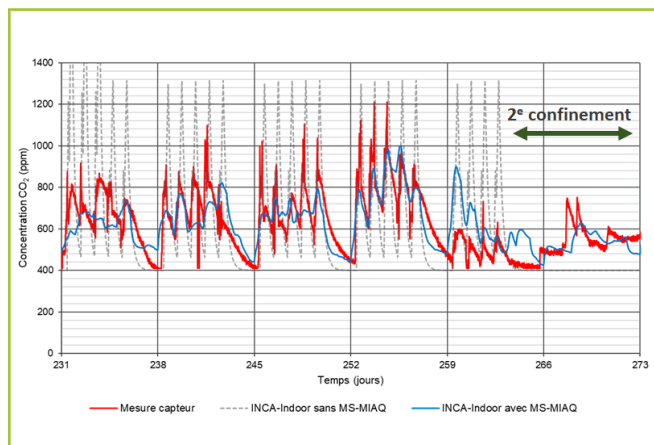
de la méthodologie MS-MIAQ. Des micro-capteurs ont été installés au sein de la Faculté de Géographie et d'Aménagement de Strasbourg depuis janvier 2020. Les concentrations de trois types de polluants sont mesurées dans des bureaux occupés :

- le CO<sub>2</sub>, principalement émis par les occupants
- un total de COVs légers émis dans l'air intérieur par les matériaux composant le mobilier et les occupants
- les particules fines.

Pour bien représenter les écoulements d'air entre les pièces et aussi les échanges avec l'extérieur, INCA-Indoor a été couplé au modèle aérodynamique CONTAM (Dols et Polidoro, 2015) par Octopus Lab. La base PANDORE donne les émissions des matériaux (Abadie et Blondeau, 2011). L'ensemble de la chaîne de modélisation est le système INDALO<sup>®</sup>.

La Figure 3 montre les concentrations de CO<sub>2</sub> mesurées dans une salle occupée de la Faculté de géographie avec un capteur, celles simulées avec le modèle INDALO<sup>®</sup> seul, et celles simulées avec MS-MIAQ appliquées à INDALO<sup>®</sup>. Les résultats ont montré que MS-MIAQ améliore fortement les prédictions. Il faut cependant que la période d'analyse soit suffisamment longue pour que le système puisse détecter des erreurs systématiques dans les simulations et les corriger.

La crise COVID-19 a perturbé l'expérience puisque l'occupation du bâtiment a été chamboulée. Cela a engendré quelques incompréhensions dans les signaux mesurés. Cependant, les premiers résultats d'application de la méthodologie MS-MIAQ ne laissent aucun doute sur ses performances.



**Figure 3 : Concentrations de CO<sub>2</sub> observées (rouge), simulées avec le modèle INCA-Indoor (gris) et MS-MIAQ (bleu). ©Berger, 2022.**

## Conclusion

L'étude a montré que les mesures des micro-capteurs de la qualité de l'air intérieur, couplées avec des modèles, peuvent être une source d'information essentielle pour le suivi opérationnel de la qualité de l'air. La méthodologie MS-MIAQ permet de repérer et d'anticiper des changements dans l'usage d'un bâtiment ou dans son environnement pour mieux prédire la qualité de l'air intérieur. L'inconvénient principal de cette méthodologie reste sa

dépendance à une base de données : une quantité suffisante de données fiables et représentatives d'un usage normal et régulier d'un bâtiment doit être récoltée pour que le système repère des erreurs systématiques pouvant être anticipées et corrigées. La période de pandémie COVID-19 a malheureusement impacté l'usage du bâtiment étudié, dès lors les données collectées ne sont pas suffisamment représentatives.

La méthodologie MS-MIAQ a été intégrée par Octopus Lab dans l'offre INDALO Supervision@.



Conception graphique : Zone Atelier Environnementale Urbaine, ZAEU, Maison Interuniversitaire des Sciences de l'Homme - Alsace (MISHA) 5, allée du Général Rouvillois, CS 50008  
Céline Merlaud - Oxo Mini Agence

### Pour aller plus loin

**Mendez, M., Blond, N., Blondeau, P., Schoemaeker, C., and Hauglustaine, D. A. (2015)** *Assessment of the impact of oxidation processes on indoor air pollution using the new time-resolved INCA-Indoor model, Atmospheric Environment*, 122, 521-53.

**Schoemaeker C., et al. (2015)** *Projet MERMAID : Caractérisation détaillée de l'air intérieur des bâtiments énergétiquement performants par couplage entre Mesures Expérimentales Représentatives et Modélisation Air Intérieur Détaillée, Rapport*. ADEME N° de contrat : 1262C0023, 178 pages, Mai 2016.

**Abadie, M., & Blondeau, P. (2011)**. Pandora database: A compilation of indoor air pollutant emissions. HVAC and R Research, 17(4), 602-613

**Dols, W. S., & Polidoro, B. J. (2015)**. CONTAM User Guide and Program Documentation - Version 3.2 (NIST Technical Note 1887).

### Auteurs et contacts

**Nadège Blond**, Chercheur CNRS, Laboratoire Image Ville Environnement - LIVE  
(nadege.blond@live-cnrs.unistra.fr)

**Corentin Berger**, Doctorant, Laboratoire Image Ville Environnement - LIVE  
(corentin.berger@live-cnrs.unistra.fr)

**Jean-Luc Ponche**, Enseignant-Chercheur UNISTRA, Laboratoire Image Ville Environnement - LIVE  
(ponche@unistra.fr)

**Didier Hauglustaine**, Directeur CNRS, Laboratoire des Sciences du Climat et Environnement  
(didier.hauglustaine@lsce.ipsl.fr)

**Alice Micolier**, Chargée de projet scientifique à Octopus Lab (alice@octopuslab.fr)

**Maxence Mendez**, Président et fondateur d'Octopus Lab (maxence@octopuslab.fr)

### Accès aux données

Les données relatives au projet sont disponibles au LIVE, UMR 7362 CNRS-Unistra  
Les demandes doivent être adressées à : live-contact-donnees@live-cnrs.unistra.fr