

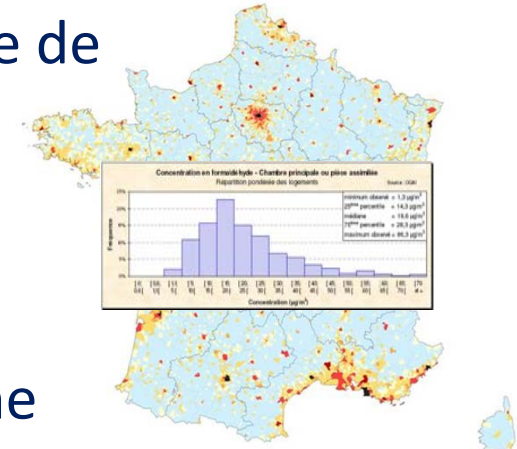


Déploiement de micro-capteurs de qualité de l'air dans les logements pour une campagne nationale : Contraintes et opportunités

Olivier Ramalho, Bruno Berthineau, Valérie Cochet,
François Gaie-Levrel, Alain Ginestet, Benjamin Hanoune,
Cécile Honoré, Pierre Pernot, Jessica Queron, Nathalie Redon,
Laurence Robert, Gilles Roussel, Doriane Rousselle, Ingrid Schneider,
Karine Zeitouni

OQAI - Campagne nationale Logements n°2

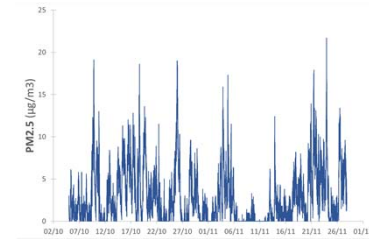
- Préparation d'une deuxième campagne nationale de l'état de la QAI dans les logements après une première campagne menée en 2003-2005
- Echantillon visé de 800-1000 logements (résidences principales) en France métropolitaine
- Objectifs :
 - Evolution de la QAI depuis 15 ans ?
 - Identification et niveaux des polluants (ré)émergents ?
 - Utilisation d'outils innovants → *capteurs*
- Démarrage prévu fin 2019



Objectif du déploiement de capteurs

- **Suivi dynamique**

- Renseigner la variabilité temporelle
- Durées d'intégration flexibles et modulables (occupation / inoccupation) → estimation plus fine de l'exposition à l'intérieur
- Identifier les situations/usages « à risques », données contextuelles fines nécessaires pour accompagner les observations



- **Objectif secondaire** de la CNL2 derrière la comparaison avec CNL1 et la mesure de substances prioritaires émergentes ou peu renseignées (hiérarchisation sanitaire en cours)

CNL2 : stratégie idéale de déploiement capteurs

- Pouvoir équiper 500-1000 logements avec des capteurs QAI bas-coûts (1 capteur par logement)
- Envoi directement aux occupants
- Mise en œuvre simple directement par les occupants
- Suivre la QAI sur une durée longue (6 mois) dans le logement
- Suivi et validation des données à distance
- Renvoi des capteurs par les occupants

→ **Peut-on répondre à cet idéal ?**

→ **Peut-on proposer une alternative ?**

} GT OQAI - Capteurs

Mission du GT OQAI-μcapteurs

- Identifier les indicateurs QAI à suivre par capteurs
- Identifier les technologies les plus appropriées
- Identifier les contraintes techniques de terrain et les solutions envisageables
- Proposer des stratégies de déploiement
- Réfléchir sur une mise en place par les occupants
- Quelle gestion et traitement des données ?

Indicateurs QAI retenus par le GT

Indicateur QAI	Technologie recommandée
CO ₂	Optique (NDIR)
CO	Electrochimique (EC)
COVT	Photoionisation (PID 10.6 eV)
NO ₂	Electrochimique (EC)
O ₃ (<i>optionnel</i>)	<i>Electrochimique (EC)</i>
PM ₁₀ , PM _{2.5} , PN, distr. taille	Optique (diffraction / laser)

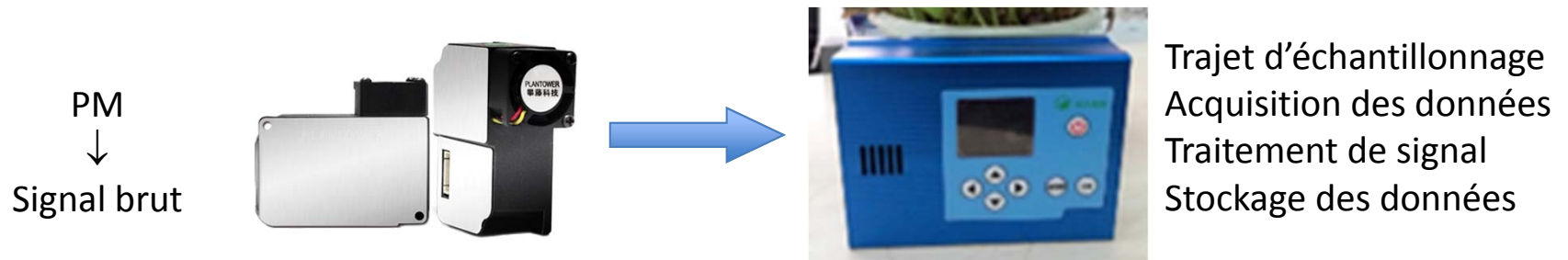
- COVT : pas de VGAI, mais utilisation croissante. La CNL2 pourrait être une distribution de référence.
- CO : avis partagé. Gaz toxique avec alarme nécessaire (aspect sécurité) vs. Mesures quasi-nulles dans ~95% des cas avec capteurs peu sensibles au niveau sub-ppm.
- O₃ : avis partagé. Pas de sources intérieures, mais finalement peu d'études. Mesures fortement liées à celles du NO₂.

Indicateurs QAI non retenus par le GT

- **COV** et **COSV spécifiques** (pas de capteurs identifiés)
- **Formaldéhyde** (durée de suivi limitée à max 1 semaine pour les capteurs spécifiques, sinon faible sélectivité des autres capteurs)
- **BC carbone suie** (intérêt QAI moindre et coût élevé)
- **SO₂** (plus de sources intérieures)
- **NH₃** (pas de capteurs assez sensibles)
- **Biocontaminants** (pas/peu de solutions testées)
- **Particules ultrafines** ou **PM₁** (pas de capteurs portables bas coût)
- **Radon** (peu d'intérêt en dynamique)

Quelles solutions de capteurs ?

- Confusion entre l'élément sensible transducteur (capteur OEM) et l'instrument de mesure finalisé



- Deux types de capteurs multi-paramètres sur le marché

Capteurs grand public

- Technologie bas coût
- Communication Wifi/BT
- Pas de stockage interne
- Données sur Cloud
- Visualisation appli mobile
- Applets tiers pour tableur
- Pas de maintenance, peu de SAV
- Peu de spécifications techniques
- Non paramétrable
- Indicateur visuel QAI good or bad



VS.



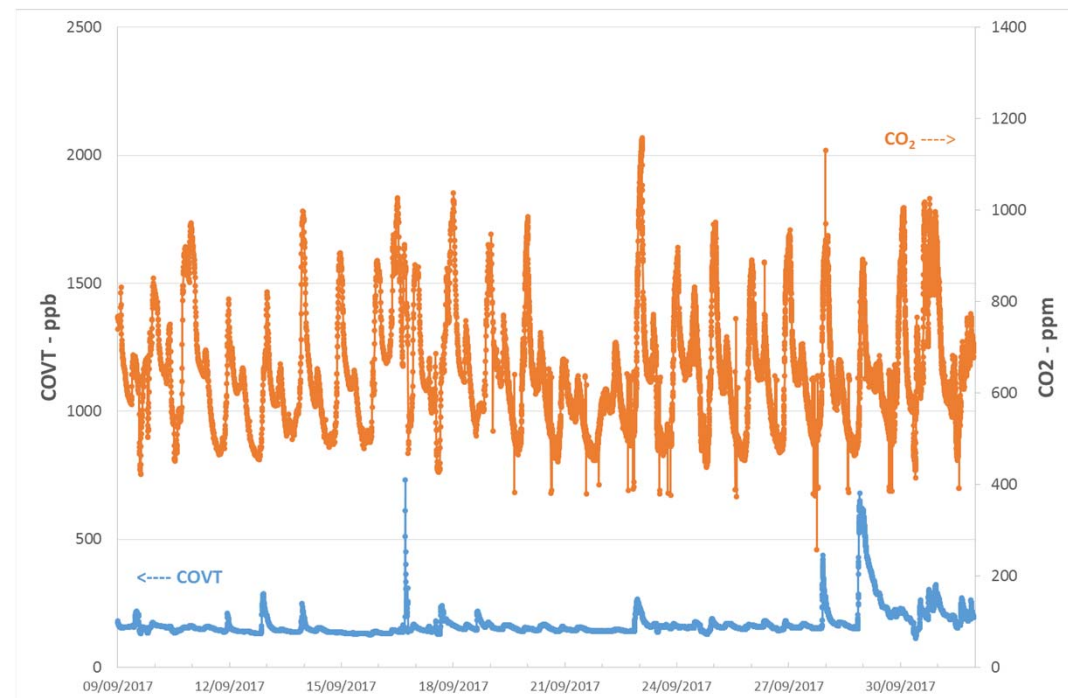
Capteurs professionnels

- Prétraitement données
- Performances ± disponibles
- Stockage interne
- Communication Wifi, 3G, ...
- Données sur Cloud
- Accès internet, mobile
- Couplage avec BDD possible
- Maintenance, SAV
- Paramétrable

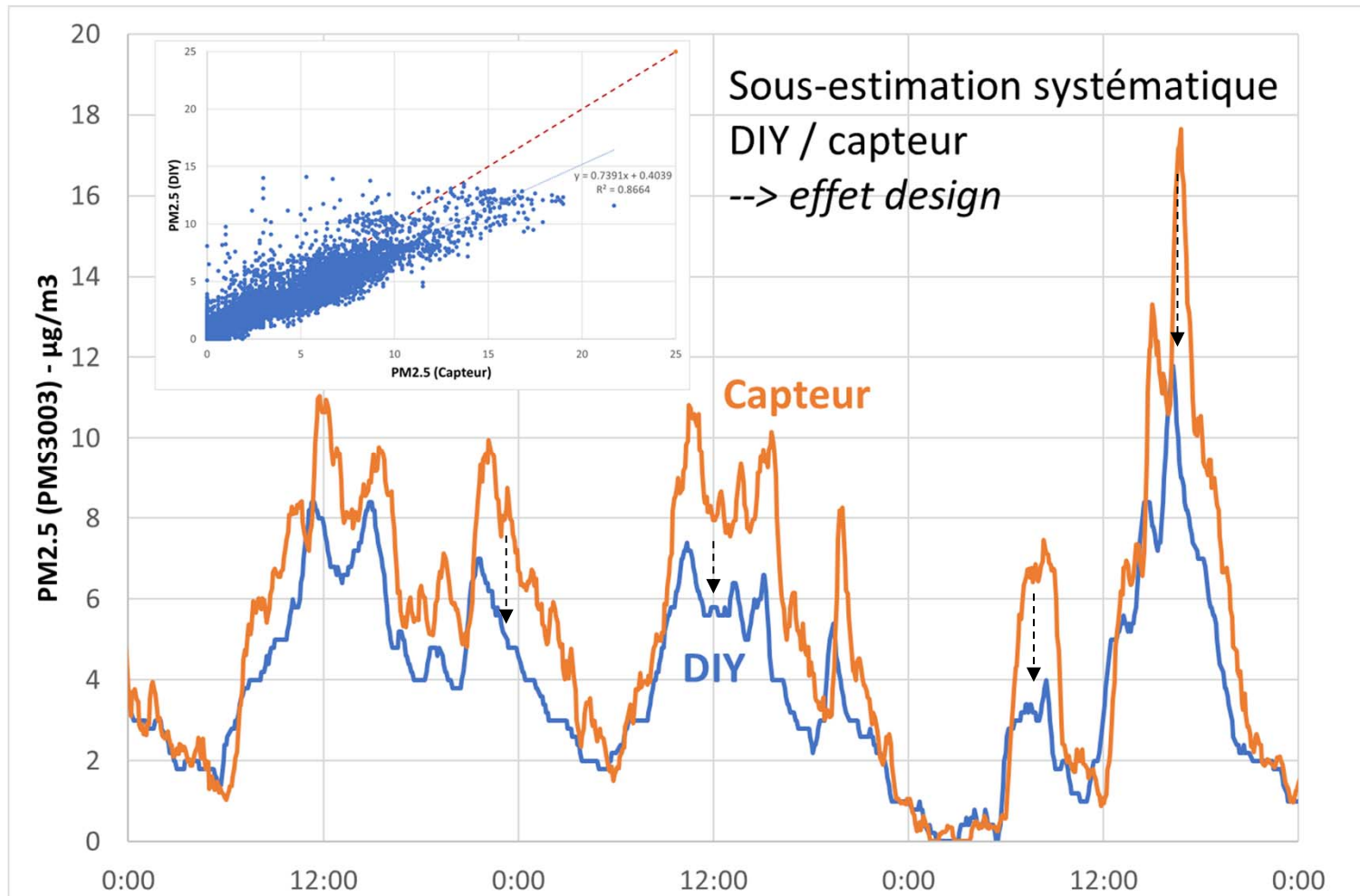
Approche DIY capteurs



- Sélection de capteurs OEM (6 indicateurs)
(T, HR, CO₂_{NDIR}, COVT_{PID}, PM_{2.5}, PM₁₀)
- Intégration dans solution d'acquisition et de communication
- Exemple de suivi de 1 mois dans un logement
- Volet design et communication / récupération des données à ne pas sous-estimer



Approche DIY capteurs



Capteur



DIY



- Importance critique de l'entrée et du cheminement de l'air en particulier pour PM
- Connaissance en physique des aérosols requise

Choix des solutions

→ Fonction du retour de tests d'évaluation en QAI ou QAE

Sensibiliser à la qualité de l'air à l'intérieur

AIRLAB

marque	nom	étoile
• RUBIX S&I	RUBIX POD	★★★★☆
• meo	blue by meo	★★★★☆
• Azimut-Monitoring	RAM000X	★★★★☆
• NanoSense	P4000	★★★★☆
• Decentlab GmbH	DLR 1.3	★★★★☆
• WAF DIRECT	Blueair AwareTM	★★★★☆
• IQAir AG	AirVisual Pro	★★★★☆
• MANN + HUMMEL	OURAIR SPS208	★★★★☆
• NanoSense	E4000NG	★★★★☆
• Decentlab GmbH	Multisensor	★★★★☆



<http://www.airlab.solutions/fr/actualites/challenge-microcapteurs-2018-annonce-des-r%C3%A9sultats>



1^{er} Essai national d'Aptitude des micro-Capteurs (EAμC) pour la surveillance de la qualité de l'air : Synthèse des résultats

<https://www.lcsqa.org/fr/rapport/premier-essai-national-daptitude-des-micro-capteurs-eamc-pour-la-surveillance-de-la-qualite>

→ Pré-tri des solutions selon besoins spécifiques OQAI-CNL2

→ Tests de déploiement sur campagne pilote

Suivi des performances des μ capteurs in situ

- Vérifications et intercomparaisons avant/après en laboratoire
- Nécessité de vérifier périodiquement la réponse des capteurs par envoi de tubes/kits passifs pour corriger la dérive.
- Pour PM, comparaison avec mesure de référence en laboratoire et in situ.
- Encrassement des capteurs sur le long terme (optique capteurs PM).
- Solutions multicapteurs avec performances variables selon grandeur
 - Pas de solution parfaite aujourd'hui
 - Deux systèmes nécessaires pour couvrir l'ensemble des indicateurs

Stratégies de déploiement de μ capteurs

- **Différentes stratégies de déploiement de capteurs possibles :**
 - Déploiement national dans 700-1000 logements
 - Déploiement dans un sous-échantillon de ménages volontaires
- **Format du déploiement de capteurs possibles :**
 - Suivi 6 mois + suivi activités (fenêtres, présence)/capteurs 6 mois
 - Suivi 6 mois + envoi 2-6 kits + BETA hebdomadaires (recalage + données activités/usages sur des semaines définies)
 - Envoi hebdomadaire de (kits hebdos + capteurs + BETA) répétés 2 à 6 fois sur 6 mois
- **Déploiement 1 capteur par logement dans le séjour** (pièce avec le plus d'activités), mais T, HR et CO₂ nécessaires aussi dans la chambre (comparaison CNL1)

Point de mesure extérieur

- Comparaison extérieure obligatoire pour NO₂, O₃, PM
- Rapprochement données de géolocalisation logement avec données stations extérieures possibles pour NO₂ et O₃
- Résolution des sorties de modélisation en air ambiant pas assez précise pour le rapprochement
- Pour PM, faible représentativité des données stations par rapport à façade bâtiment → privilégier point de mesure extérieur en PM₁₀ et PM_{2.5}
- Pas de mesure extérieure requise pour COVT, CO₂, CO

Mise en place par les occupants ?

- Nécessité d'**instructions** claires
- Matériel **prêt à l'emploi** au déballage
- Mise en place par un **tiers de confiance** (postier) ?
- Minimum de **volontarisme** de la part des occupants
- Quels **biais de représentativité** des ménages ?
- Prévoir une **période d'acclimatation** des occupants ? *Laisser les occupants tester le capteur pendant 1-2 semaines avant mesures effectives*
- Prévoir une **Hot line**
- Gestion des **retours**

Interaction/retour d'information aux occupants ?

- **Absence de visualisation** et de retour d'information en temps réel → *risque de désintérêt, frustration*
- **Information en temps réel** → *risque de biais de comportement peu/trop vertueux*
- Possibilité de fournir un **retour d'information en décalé** sur une base journalière, hebdomadaire ou mensuelle ou encore lors d'évènements particuliers (alertes) en mode push (envoi de SMS, ...) ou via une connexion serveur spécifique occupant

Gratification des occupants ?

- **Retour d'information** sur les grandeurs mesurées (QAI et confort) → *rapport fin de campagne (positionnement du logement en comparaison avec la population)*
- Prévoir une **contrepartie** en phase de sélection de volontaires ou en post-enquête :
 - Cadeau(x)
 - Chèque-cadeau / Bon d'achats
 - Diagnostic gratuit ou prix réduit
 - Laisser le capteur chez l'occupant pour auto-évaluation sur une période définie
 - Offrir le capteur aux occupants à la fin

Contraintes de terrain

- **Nécessité secteur** + batterie interne (pour éviter pertes de données)
- **Redémarrage automatique** sans pertes du paramétrage
- **Mémoire interne** indispensable (perte temporaire de connexion)
- Mode de communication **GSM** à privilégier car accès à une connexion réseau dans le logement pas toujours disponible
- **Données hautes fréquences** pas forcément compatibles avec réseaux bas débits LoRa ou Sigfox
- Attention aux **perturbations électriques** des autres équipements → artefact et/ou perte de signal
- Une **seule base d'horodatage**/logement pour toutes les mesures

Questionnaires/suivis des usages

- Nécessité d'**infos complémentaires** pour accompagner le suivi dynamique des capteurs
- Renseigner la **présence** et l'**ouverture des fenêtres** a minima
- **Instrumenter le séjour** par des capteurs présence/fenêtres
- **Inférer la présence et l'ouverture des fenêtres** par analyse des paramètres mesurés (ex : CO₂ pour présence)
- **Questionnaires d'usages** ciblant des périodes de 1 semaine/mois
- Tablette fournie aux occupants permettant de répondre à un questionnaire en ligne et/ou aux occupants de **faire remonter des évènements particuliers**
- Envoi de questions rapides et spécifiques par **SMS**

Gestion des alertes

- Prévoir des **alertes** sur valeurs très élevées / extrêmes et/ou dépassement de valeurs de référence/réglementaire (exposition aigüe)
- **Vérifier** si la mesure du capteur est aberrante → envoi d'un kit pour comparaison et/ou remplacement de capteur
- Pas d'alertes pour valeurs de référence d'exposition chronique
- Mise en place d'une **alarme** en cas de risque immédiat (CO)
- Mise en place d'**alertes de fonctionnement** (SMS)
- Définir des EMT pour **recaler les dérives** horodatage et capteurs

Sécurité des données / Protection des libertés

- **Sécuriser** l'archivage des données
- **Droits d'accès**, de récupération et de modification des données par l'occupant en permanence → *procédure d'accès aux données opérationnelles permanente, fixer une date de fin de stockage*
- **Transit des données** via plate-forme cloud (solutions commerciales de location ou d'achat) → *problème de propriété des données (réutilisation possible par hébergeur) et problème CNIL également si collecte de données sensibles (géolocalisation, données nominatives ou santé)*
- Le plus simple → stockage sur plate-forme interne pour **éviter intermédiaires**

Gestion et traitement des données

- Contrôle et harmonisation de l'**horodatage**
- **Pas de temps** p et stabilité/décalage de p dans la durée
- **Volume** de données = pas x durée x N paramètres / logement
Ex : 1 min x 6 mois x 5 paramètres = 1,3 M données / logement
- Détection des **données aberrantes** par algorithme de détection des valeurs extrêmes
- Complétion **données manquantes** par interpolation ou fonction
- Comparaisons kits/capteurs → **recaler** les données a posteriori
- Création de **différents indicateurs** à l'échelle du logement pour chaque paramètre (%dépassements $|x$, percentiles par périodes définies, etc.)
- Traitement des données reste à **approfondir**

Opportunités

- Renseigner la **variabilité temporelle** des polluants dans les environnements intérieurs encore méconnue
- **Evaluation fine de l'exposition** des occupants au plus près de leur temps de présence
- Possibilité de définir des distributions de concentrations de **référence à l'échelle nationale**
- **REX terrain** à grande échelle
- Masse de données conséquente **renforcée de données connexes** horodatées (usages, niveaux extérieurs, météo, etc.) ou non (caractéristiques ménages, bâtiments, équipements (ventilation, chauffage), sources intérieures, etc.)
- Opportunité pour le développement de méthodologies de **traitement mathématiques et statistiques**

Conclusions

- Avis favorable du GT pour utiliser les capteurs dans la CNL2 mais avec des contraintes notamment dans le suivi des performances dans le temps
- Capteurs grand public non adaptés à un déploiement à une échelle nationale (pb d'accès aux données collectées) → Nécessité d'aller vers des solutions orientées professionnels
- Pas de système multi-capteurs idéal pour un déploiement à grande échelle dans les logements, mais compromis possible
- Ne remplace pas mais complète les techniques de mesures classiques
- Déploiement de capteurs sans doute ramené à un sous-échantillon de logements (n = 100-200)
- Durée de suivi éventuellement réduite pour limiter les contraintes et faciliter le renseignement d'informations connexes

Remerciements aux membres du GT μ capteurs

- Cécile HONORE, Pierre PERNOT (AIRPARIF)
- Nathalie REDON (LCSQA, IMT Lille-Douai)
- François GAIE-LEVREL (LCSQA, LNE)
- Jessica QUERON (INERIS)
- Vincent DUPUIS (Air Citizen, UPMC/Phenix)
- Alain GINESTET (CETIAT)
- Benjamin HANOUNE (Univ. Lille 1/PC2A)
- Laurence ROBERT (INRS)
- Gilles ROUSSEL (Univ. Littoral/LISIC)
- Karine ZEITOUNI (USVQ/DAVID)
- V. COCHET, D. ROUSSELLE, I. SCHNEIDER, B. BERTHINEAU (CSTB/OQAI)
- Anne-Marie SOULIER (DHUP/ CS OQAI)



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

Merci de votre attention !