

Des capteurs miniatures pour mesurer la qualité de l'air?

L'état de l'art, les limites, les perspectives

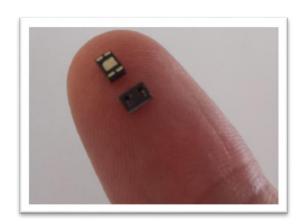
#### **Sommaire**

- 1. Contexte de la surveillance de la qualité de l'air
- 2. L'essor des 'micro-capteurs'
- 3. Etat de l'art Comment s'y retrouver ?
- 4. REX sur des cas d'utilisation
- 5. Conclusion





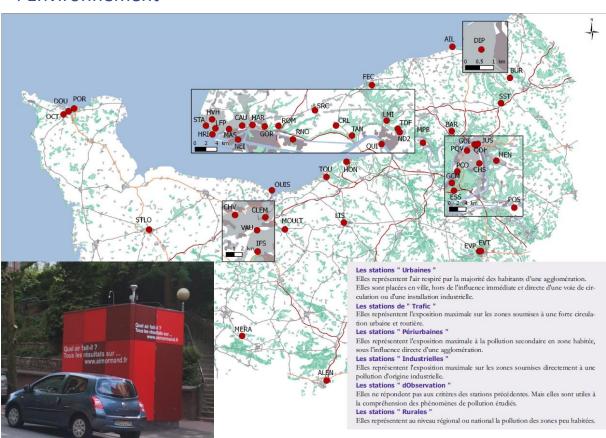






#### La surveillance de la QA - Contexte

- Une surveillance encadrée par plusieurs référentiels:
  - Au niveau européen (cf. Directives 2004/107/CE et 2008/50/CE)
  - Au niveau national (cf. loi sur l'Air 1996, PNSQA)
  - Au niveau régional (cf. arrêtés préfectoraux, PRSQA)
- <u>Des dispositifs de surveillance régionaux gérés par les AASQA</u> pour le compte du Ministère de l'Environnement



- des <u>structures indépendantes</u> regroupant Etat, collectivités territoriales, industrielles et des personnalités qualifiées
- un dispositif dimensionné
  pour satisfaire aux exigences
  communautaires et nationales
  (critères d'implantation des
  stations de mesure, ...) ainsi
  qu'aux spécificités locales
  (dont activités industrielles)



#### La surveillance de la QA - Contexte

Des référentiels qui encadrent les méthodes et les outils utilisés pour la surveillance

#### norme européenne

NF EN 14211 Octobre 2012

norme française

Indice de classement : X 43-061

ICS: 13.040.20

Air ambiant

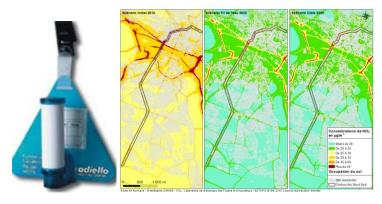
Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence

- E: Ambient air Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemilluminescence
- D: Luftqualität Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz



Des référentiels qui fixent des critères de « performance » -> Objectifs de Qualité de Données (OQD)

Polluant	Incertitude tolérée (OQD) suivant méthode utilisée		
	Référence	Indicative	Modélisation
SO2, NO2, CO	±15%	±25%	±50%
PM10/PM2.5	±25%	±50%	±50%
O3	±15%	±30%	±50%



Méthode indicative utilisée pour évaluer des niveaux de pollution Modélisation utilisée pour cartographier des niveaux de pollution, estimer des zones de dépassement ...



#### La surveillance de la QA - Contexte

- Une surveillance encadrée pour garantir des mesures fiables, représentatives, inter-comparables
  - -> information du public
  - -> suivi des tendances sur le long terme
  - -> intercomparibilité au niveau national et européen

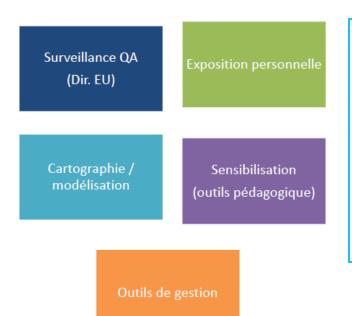






#### L'essor des micro-capteurs

- Pas un phénomène nouveau, des 1eres études en France dans les années 2000 (Air Normand en 2002)
- Un essor continu depuis 2010 avec des <u>technologies miniaturisées</u>, <u>améliorées et démocratisées</u> (en lien avec la diminution des couts liées à la transmission de données -> généralisation des objets communicants ou IoT)
- <u>De nouvelles perspectives offertes</u> pour améliorer les connaissances et répondre à une pression sociétale de plus en plus forte pour des informations rapidement et facilement assimilables au plus près du citoyen



#### « apporter de l'information là où il n'y en a pas ou peu »

- des micro-capteurs pour améliorer la couverture spatio/temporelle de la surveillance des polluants : lien avec la modélisation ; identification de « hot spots », test/mise en place d'actions sur la qualité de l'air, ...
- des micro-capteurs pour mieux appréhender l'exposition individuelle à la pollution de l'air (liens avec études sanitaires)



### L'essor des micro-capteurs

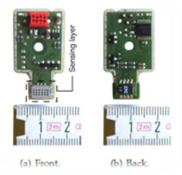
#### Qu'appelle t'on « micro-capteur »?

#### On distingue habituellement:

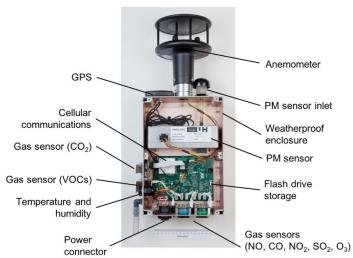
- <u>l'élément sensible</u> (« sensor »), qui transforme la grandeur physicochimique en grandeur utilisable de type signal électrique
- <u>le capteur</u> = système de détection, directement utilisable, intégrant un élément sensible
- <u>la mini-station</u>: dispositif intégrant un ou plusieurs capteurs et d'autres blocs fonctionnels (GPS, Wifi, batteries, stockage...) pour créer un système de détection opérationnel et autonome

Le terme « micro-capteur » ou encore « **low cost sensor** » en anglais, englobe un ensemble de dispositifs basés sur des principes de mesure variés mais ayant comme points communs <u>leur taille réduite</u> et <u>leur faible coût</u> (par rapport à des instruments de référence)

→ mais tous les micro-capteurs ne sont pas 'low-cost' ...







# L'essor des micro-capteurs

#### Différentes technologies pour la mesure des gaz et des PM

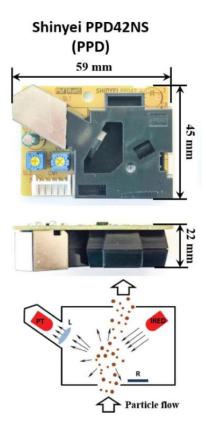








Bien souvent les mêmes éléments sensibles ('sensor') utilisés par les différents fabricants!



- Des travaux en cours depuis 2015 au niveau UE avec un GT « Air Quality
   Sensor » au sein du comité de normalisation (CEN TC 264 « Air Quality »)
  - -> élaborer des spécifications techniques détaillant les exigences en termes de caractéristiques de performances ainsi que les méthodes d'essai associées (en laboratoire et sur le terrain)
  - -> aider à séparer le bon du moins bon parmi la pléthore de dispositifs
  - -> aider à les constructeurs à mieux qualifier leur produit
- <u>De nombreux tests effectués</u> par la communauté « qualité de l'air » (recherche, institutionnels, ..) pour <u>documenter les performances</u> <u>atteignables avec les micro-capteurs</u>
  - principe de base : comparer les 'micro-capteurs' avec les instruments de référence <u>en conditions 'terrain'</u> (justesse, précision, dérive, linéarité, ... )
  - d'autres critères également évalués selon l'usage envisagé : portabilité, ergonomie, ...







Essai national d'aptitude des micro-capteurs (LCSQA, https://www.lcsqa.org)

#### Essai national d'Aptitude des micro-Capteurs

Semaine 3

Objectif : placer en conditions réelles un grand nombre de systèmes différents afin d'évaluer leur aptitude à quantifier 4 polluants réglementés pour l'air ambiant : NO2, O3 et les particules (PM25 et PM10)

Semaine 2



aux participants a posteriori

- Site de typologie urbaine : station Dorignies IMT Lille Douai
- Participation ouverte
  - aux fournisseurs/distributeurs : Airmatrix, Ecomesure, Vaisala, Rubix, Environnement SA, Addair, Envicontrol, 42 Factory, Clarity Movement, Lauxa France

Semaine 4

Février

Semaine 5

Février

Semaine 6

- aux AASQA: Atmo AuRA, Atmo Grand Est, Qualit'Air Corse, Atmo Normandie, Atmo HdF
- au LCSQA : IMT Lille Douai, Ineris

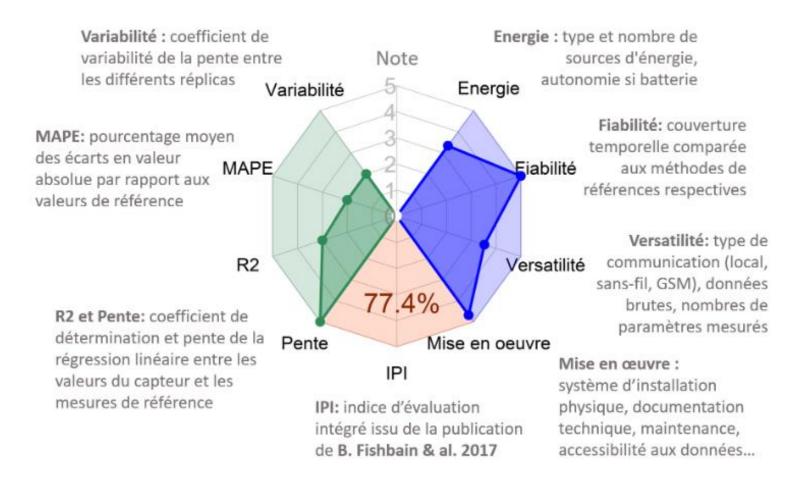
16 participants

44 dispositifs au total (répliques inclus)

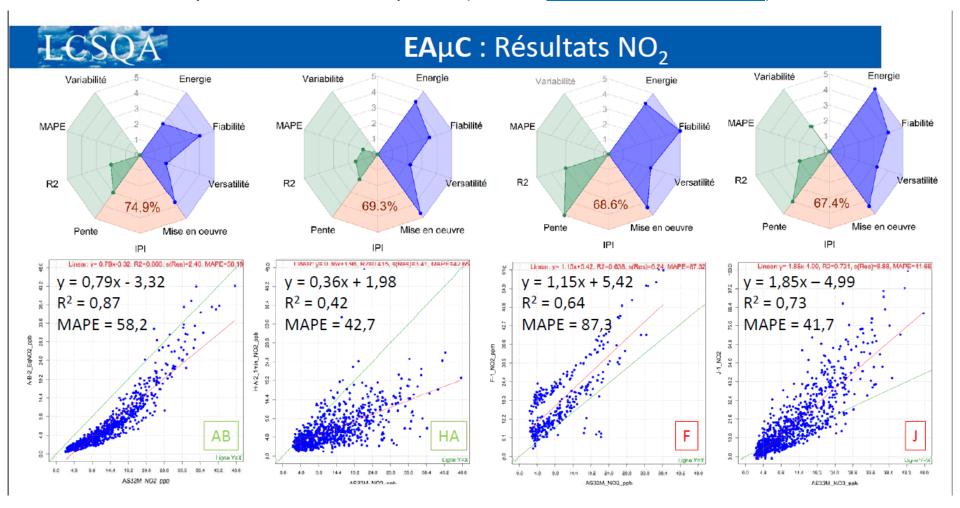
17 systèmes de conception et d'origines différentes

France, Pays-Bas, Royaume-Uni, Espagne, Italie, Pologne, États-Unis

Essai national d'aptitude des micro-capteurs (LCSQA, <a href="https://www.lcsqa.org">https://www.lcsqa.org</a>)



• Essai national d'aptitude des micro-capteurs (LCSQA, https://www.lcsqa.org)



• Challenge micro-capteur organisé par l'AirLab d'AirParif (<u>www.airlab.solutions/fr/actualites/</u>)

29 modèles de capteurs (12 polluants) mis à disposition par des entreprises volontaires testés pendant 3 mois selon <u>8 catégories d'usage</u> :

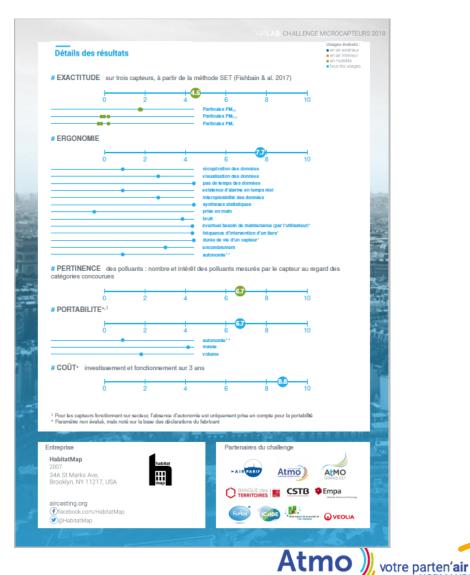
- Sensibiliser à la qualité de l'air en extérieur
- Sensibiliser à la qualité de l'air à l'intérieur
- Documenter l'exposition personnelle à la pollution à des fins d'interprétations sanitaires
- Sensibiliser à la qualité de l'air en mobilité (véhicule)
- Sensibiliser à la qualité de l'air rencontrée au cours de vos activités journalières
- > Piloter et gérer l'air dans un bâtiment
- Surveiller la qualité de l'air extérieur
- Surveiller la qualité de l'air intérieur



Renseigner les utilisateurs sur l'adéquation des capteurs avec les usages envisagés Mettre en avant les qualités de ces appareils et les voies d'amélioration afin de favoriser l'innovation

• Challenge micro-capteur organisé par l'AirLab d'AirParif (<u>www.airlab.solutions/fr/actualites/</u>)





Challenge micro-capteur organisé par l'AirLab d'AirParif (www.airlab.solutions/fr/actualites/)

#### Les principaux enseignements:

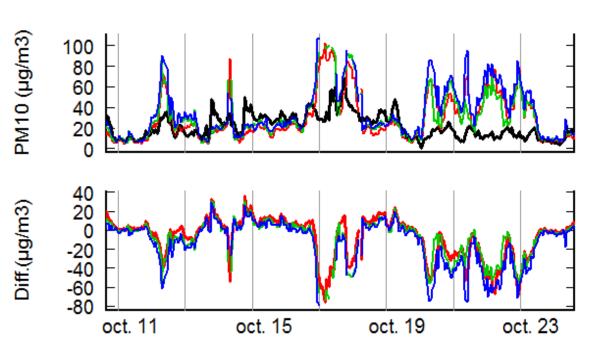
- les meilleurs capteurs concernent la qualité de l'air intérieur en fixe pour :
  - sensibiliser à la qualité de l'air
  - piloter et gérer la qualité de l'air à l'intérieur d'un bâtiment
- des solutions intéressantes existent pour sensibiliser à la qualité de l'air rencontrée au cours des activités journalières -> des outils pédagogiques et de sensibilisation pour favoriser l'action
- les capteurs destinés à mesurer à des fins de surveillance réglementaire et d'évaluation de l'exposition personnelle restent à améliorer :
  - souvent une bonne dynamique temporelle mais des niveaux généralement biaisés
  - des difficultés rencontrées en mobilité (variation rapide des conditions environnementales)

Des tests réalisés par Atmo Normandie

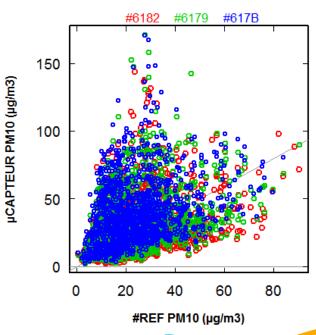
Dans le cadre d'une collaboration avec CITEOS, évaluation de mini-stations Tera PM et NO2 (station de mesure trafic 'SUD3' à Rouen)

Cas des PM10 (mesures horaires, sept-dec 2017)

#REF #6182 #6179 #617B



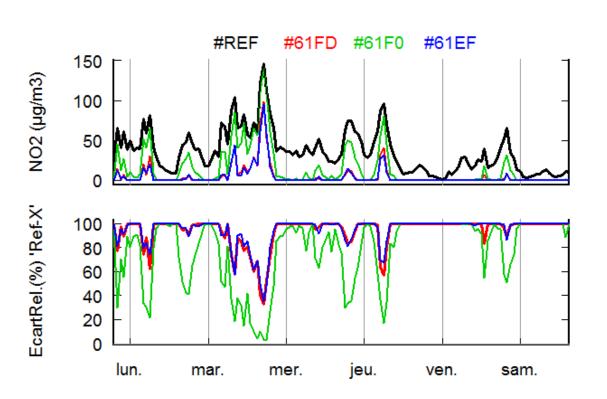




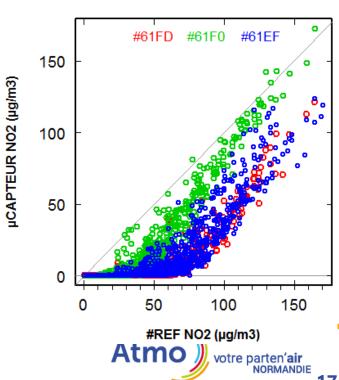
Des tests réalisés par Atmo Normandie

Dans le cadre d'une collaboration avec CITEOS, évaluation de mini-stations Tera PM et NO2 (station de mesure trafic 'SUD3' à Rouen)

Cas du NO2 (mesures horaires, sept-dec 2017)



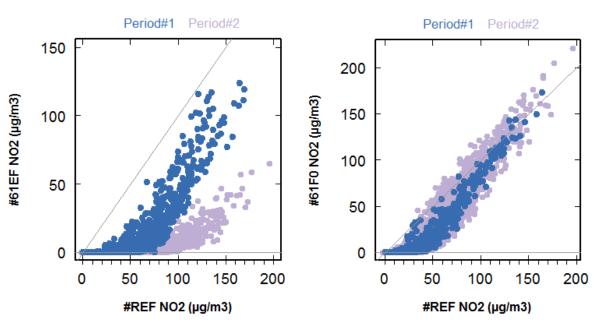




Des tests réalisés par Atmo Normandie

Dans le cadre d'une collaboration avec CITEOS, évaluation de mini-stations Tera PM et NO2 (station de mesure trafic 'SUD3' à Rouen)

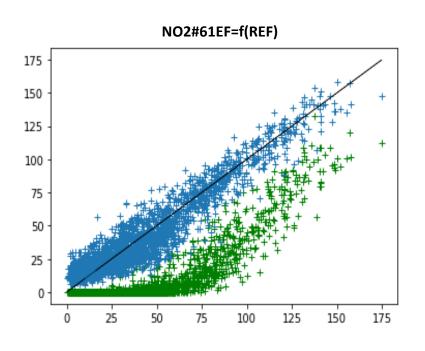
Cas du NO2 - Stabilité dans le temps: Période#1 (sept-dec.17) – Période#2 (juin-sept.18)



- > Baisse significative de sensibilité du capteur #61EF -> cf. durée de vie du capteur (≈ 1an)
- ➤ A l'inverse, le capteur #61F0 est resté très stable sur 1 an – pas d'effet visible du vieillissement?

• Des tests réalisés par Atmo Normandie

Des travaux menés sur le traitement des données (collaboration avec l'INSA) : apport des techniques de type 'machine learning' ...



NO2#61EF brut NO2#61EF corrigé

- Principaux enseignements des évaluations de 'micro-capteurs':
  - Des performances en conditions réelles souvent moins bonnes que celles affichées en 'laboratoire': influence des facteurs environnementaux (température, humidité), interférences avec les composés présents dans l'air, ....
  - Apport significatif des méthodes de correction des données
  - Des études à compléter pour mieux documenter la stabilité dans le temps des dispositifs
  - Des performances hétérogènes mais à mettre en lien avec l'usage souhaité
  - Des dispositifs pas en mesure de remplacer les instruments de référence
  - Des performances qui évoluent très rapidement au fil des innovations constructeurs
  - Globalement de meilleurs résultats pour les micro-capteurs 'gaz' en particulier avec les capteurs 'électrochimiques' (NO, NO2, O3, CO).
  - Pour les capteurs PM, des résultats plus aléatoires du fait de la méthode utilisée : la conversion 'nombre de particules' en 'masse de particules' est fonction de la nature des particules (+ influence de l'humidité).

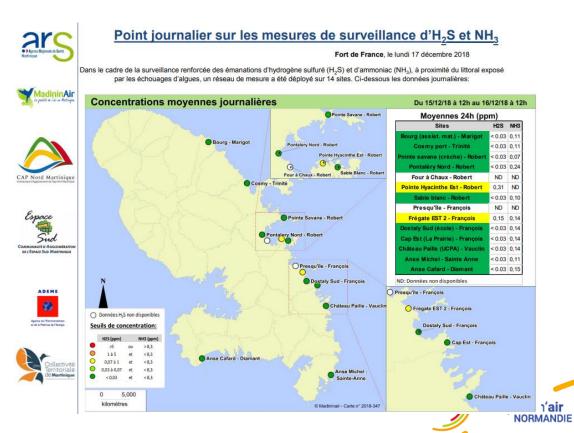
• Amélioration de la surveillance de la QA

par la multiplication des points de mesures sur un secteur, l'étude d'un microenvironnement, d'un site ne pouvant pas être instrumenté avec des moyens de mesures conventionnels...

Surveillance des émanations d'H2S/NH3 liées aux algues Sargasses en Martinique:

-> prévenir et de mieux gérer les effets sur la santé des populations





Amélioration des résultats de la modélisation (cartographie)

par l'intégration des résultats d'un réseau de mesures assez dense pour développer des services (information personnalisée en fonction du lieu, de l'activité, choix itinéraire ...)

#### VALEO MESURE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES RUES DE PARIS



- De nombreux projets basés sur l'utilisation de mesures mobiles : Google, Pollutrack (Paris, Lille), ...
- Mais peu de résultats publiés ....

ÎLE-DE-FRANCE, VALEO, ENVIRONNEMENT, EQUIPEMENTIERS, INFOS REUTERS

PUBLIÉ LE 05/10/2018 À 11H37, MIS À JOUR LE 08/10/2018 À 08H01

VIDÉO Valeo a profité du Mondial de l'Auto pour annoncer une expérimentation en partenariat avec Aria Technologies, les taxis G7 et les autobus Keolis. L'équipementier a installé des capteurs dans une vingtaine de véhicules pour mesurer en temps réel et en mouvement la qualité de l'air à Paris.



Amélioration des résultats de la modélisation (cartographie)

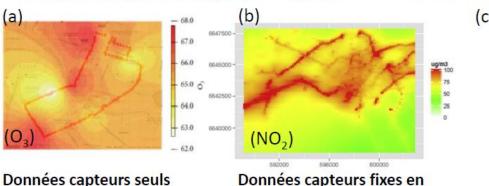
De nombreux travaux en cours pour exploiter et valoriser les mesures 'micro-capteurs' avec la modélisation



#### Etat de l'art

Interpolation géostatistique par krigeage

Méthodes statistiques spécifiques (LUR)



(c) PM25

Données capteurs en complément données SIG

Performance fusion de données ↔ modèle de dispersion + bonne calibration des capteurs + plan d'échantillonnage

Performance modèle LUR ↔ résolution spatiale des données SIG + définition du modèle

Note technique, LCSQA 2018, Utilisation des données de micro-capteurs en modélisation et cartographie de la qualité de l'air (Juin 2018 – A. Gressent, L. Malherbe et B. Bessagnet, INERIS)

complément de la modélisation

• Des études d'exposition individuelle

pour mieux faire le lien entre exposition réelle, au plus près de l'individu, et impacts sanitaires



Observatoire participatif pour la surveillance de l'exposition individuelle à la pollution de l'air en lien avec la santé























#### Projet Polluscope (2016-2021, IdF):

- Des citoyens équipés 24/24h pendant 7j de capteurs
   QA (80 personnes, 2 campagnes /an)
- Pour une surveillance sanitaire ciblée des individus, notamment les plus vulnérables à la pollution atmosphérique (asthmatiques, cardiopathie, ...)
- Pour une meilleure compréhension des effets sanitaires de la pollution atmosphérique









• Un support pour la communication / sensibilisation

pour que le citoyen puisse tester par lui-même, monter en compétence sur le sujet pour induire des changements de comportement



Etude des liens entre données individuelles de la QA et changement de comportements

- Entre octobre 2016 et avril 2017, <u>30 citoyens de</u> la région grenobloise équipés d'un micro-capteur PM permettant d'évaluer sa propre exposition en temps réel.
- <u>Une étude sociologique</u> avec pour objectif de répondre aux questions suivantes :
  - La mesure par soi-même permet-elle une montée en compétence et une meilleure compréhension des enjeux ?
  - L'évaluation en temps réel induit-elle un changement de comportement ?

• Un support pour la communication / sensibilisation



















- -> Equiper & Accompagner des citoyens volontaires pour <u>développer l'expertise citoyenne</u>, avoir <u>des habitants force de proposition pour améliorer la qualité de l'air, contribuer au changement des comportements</u>
- 1ere édition en 2016 : 16 volontaires (2 quartiers), 30 scolaires, 2000 heures de mesures PM2.5
- 2º édition en 2017: 33 volontaires (3 quartiers), 300 scolaires. Mesure PM2.5 + QAI. Implication de nouveaux acteurs (associations de quartier, université)
- 3º édition à venir: toute la ville ciblée, installation de stations de mesures fixes de type luftdaten, des ateliers de fabrications numériques avec l'appui du réseau de fablabs rennais, ...



• Un support pour la communication / sensibilisation

#### REX projets 'citoyens':

- Forte appropriation du public, des volontaires qui accordent de l'importance à leur rôle de sentinelle
- Des expérimentations qui permettent une montée en compétence des citoyens sur le sujet QA
- Des expérimentations qui permettent de créer du lien entre les différents acteurs: citoyens, associations, institutions, ...
- Mais besoin d'accompagner, d'expliquer -> des projets souvent 'chronophages'
- Des volontaires qui, une fois passée la période de sensibilisation, regrettent que les données ne soient pas utiles à la collectivité
- La connaissance du niveau de pollution et des risques sanitaires associés ne suffit pas à induire un changement de comportement pérenne.
- Le capteur seul ne suffit pas à mettre en place des actions.





• Amélioration de la surveillance de la Qualité de l'Air Intérieur



- Une 2<sup>e</sup> campagne nationale de l'état de la QAI dans les logements prévue fin 2019 (800-1000 logements visés)
- Utilisation des micro-capteurs, pour :
  - Renseigner sur la variabilité temporelle
  - Identifier des situations/usages 'à risques'

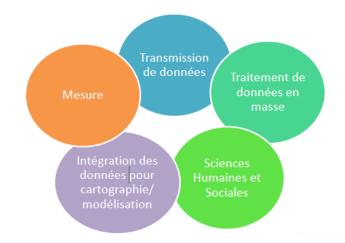


Dans ce domaine aussi, de nombreux projets en cours, de nombreuses acteurs qui investissent le sujet ....



#### **Conclusion**

- Une montée en puissance des « micro-capteurs » en QA
  - Un marché envahi par une multitude d'acteurs
  - Une recrudescence de projets basés sur l'utilisation des micro-capteurs, impliquant des acteurs, des compétences diverses



- A ce jour, des performances métrologiques encore limitées. Les « micro-capteurs » disponibles peinent à se positionner sur les objectifs de qualité des méthodes indicatives.
- Ne pas opposer méthodes de références et « micro-capteurs ». Pas les mêmes couts certes, mais pas les mêmes objectifs, pas les mêmes utilisations. <u>Des solutions complémentaires</u>.
- Rester vigilent sur l'exploitation des données. A utiliser plutôt pour qualifier des niveaux de pollution (faible, modéré, élevé) plutôt que pour quantifier des concentrations
- <u>De réelles opportunités</u> offertes pour améliorer les connaissances, pour sensibiliser le public, pour mettre en place des actions concrètes (ex: QAI)
- Encore beaucoup à améliorer, à inventer ....

### Merci de votre attention

