

Mesures de l'effet de la pollution de l'air sur la santé par enquêtes et capteurs embarqués

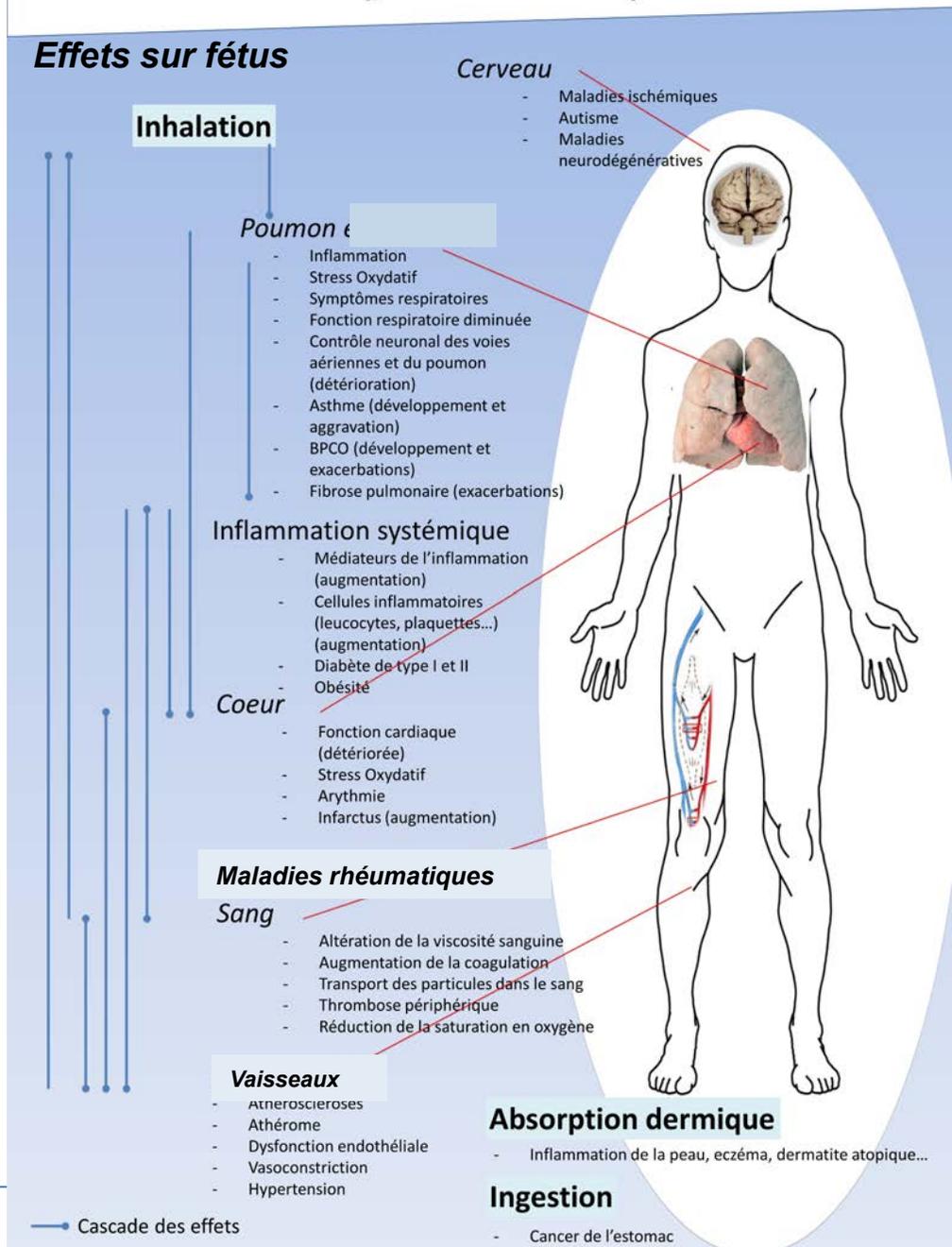
Isabella Annesi-Maesano (EPAR, iPLESP/INSERM et UPMC),
Karine Zeitouni (DAVID/UVSQ), Philippe Aegerter (VIMA/UVSQ)

Séminaire ENS Paris-Saclay, le 20/10/2017

ACE-ICSEN WP 2.1

- Contexte et objectifs**
- Focus sur l'aspect santé
- Choix des capteurs
- Focus sur l'aspect données

Effets sanitaires de la pollution particulaire (particules fines)



- Effets à courts termes
- Effets à long termes

En France chaque année:

- 48000 décès attribuables à la pollution
- 2 milliards € de dépenses sanitaires pour maladies cardiovasculaires (30% du déficit de la SS)

Mesure de la qualité de l'air aujourd'hui

- Surveillance actuelle de la qualité de l'air :
 - réseau de stations de mesures fixes
 - modélisation
- Mais quantification de l'exposition individuelle
 - ignorée, car complexe
- Biais induits :
 1. Miss-classification de l'exposition réelle et des impacts de la pollution sur la santé individuelle
 2. Difficulté dans la compréhension des disparités de risque sanitaire observées entre des groupes de population

Comment mesurer et analyser l'exposition individuelle ?

- Apparition récente de mini-capteurs à bas coût :
 - Une palette de **capteurs nomades**
 - Couplés avec la **géolocalisation** par GPS
 - Offrant une capacité de **stockage, de communication, faciles d'utilisation**
- Technologie prometteuse pour **mesurer en continu et partout (maison, travail, transport...)** **l'exposition individuelle** et révéler les changements rapides et les pics d'exposition

(* *Air sensor guidebook. EPA/600/R-14/159, l'agence de protection de l'environnement des Etats Unis, June 2014*

(* *Snyder, E. G et al. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. Environmental science & technology, 47(20), 11369-11377.*

Projet POLLUSCOPE

- Polluscope adresse les questions méthodologiques et techniques visant à la fois :
 - ✓ **l'évaluation des capteurs nomades**
 - ✓ **et l'analyse de l'exposition individuelle à la pollution de l'air et de ses effets sanitaires sur la population à risque**
- **Développement d'une infrastructure pour :**
 - ✓ **la collecte, la gestion et l'analyse de données issues de capteurs nomades : environnementaux, d'activité physique et de santé.**



Projet ANR POLLUSCOPE (sept. 2016 – aout 2020)

cap-digital



Partenariat pluridisciplinaire
Impliquant huit partenaires



données et algorithmes
pour une ville intelligente et durable



ACE-ICSEN WP 2.1

- Contexte et objectifs
- Focus sur l'aspect santé**
- Choix des capteurs
- Focus sur l'aspect données

Expositions individuelles

➤ Pourquoi

- Différence entre mesure individuelle et mesure environnementale fixe car les individus bougent
- Impact du budget espace-temps des individus
- Diversité des populations vulnérables
- Corrélation avec variations physiologiques
- NB : étude sous-dimensionnée pour mesurer association avec impact sanitaire

Volontaires

➤ **Comment**

- Volontaires (Faisabilité et acceptabilité)
- Échantillonnage pluri-annuel
- Port en continu des capteurs pendant une semaine Remise des capteurs et explications aux participants
- Récupération capteurs et entretien qualitatif

➤ **Mesures individuelles**

- État de santé avec capteurs de santé
- Facteurs de risque, interactions sociales, mode de vie

➤ **Mesures environnementales**

- Température (MétéoFrance) et qualité de l'air extérieur (AirParif)

➤ **Phase préparatoire (en cours) :**

- Questionnaires, cahier de recueil
- Autorisations réglementaires : CNIL et CPP (loi Jardé cat. 2 RIRCM)

Personnes âgées (1)

➤ Pourquoi : cible privilégiée

- Réduction de la réserve physiologique (capacité respiratoire)
- Accumulation de comorbidités
- Sensibilité exacerbée aux agressions (fragilité)
- Réduction de mobilité (95 % temps à domicile)
- Conditions de vie souvent médiocres

➤ Pourquoi : lacune des connaissances

- Population peu explorée spécifiquement (sauf étude GERIE)
- Environnement intérieur (domicile) peu exploré

➤ Comment

- Cohorte de personnes âgées fragiles
- Prolongation d'une cohorte existante RIEHO (PHRC N 2008, n=937, 3 sites)

➤ Difficultés attendues

- Acceptabilité
- Complexité

Personnes âgées (2)

➤ Critères de sélection

- Personne âgée > 80 ans
- Hospitalisée par les urgences (quel que soit motif)
- Site Ouest Parisien

➤ Échantillonnage

- Environ 1 / semaine (n=40)

➤ Mesures individuelles

- État de santé
- Limitations fonctionnelles et cognitives
- Interactions sociales, mode de vie

➤ Mesures environnementales

- Logement (visite à domicile à J15), + données ilot IRIS
- Température (MétéoFrance) et qualité de l'air extérieur (AirParif)
- **Capteurs individuels** portés pendant une semaine (J15-J21)

➤ Promotion UVSQ

ACE-ICSEN WP 2.1

- Contexte et objectifs
- Focus sur l'aspect santé
- Choix des capteurs**
- Focus sur l'aspect données

Critères de choix des capteurs

Cahier des charges :

- ✓ Polluants règlementés /
- ✓ Air intérieur & extérieur
- ✓ Fiabilité / Performances
- ✓ Portabilité
- ✓ Connectivité
- ✓ Ergonomie
- ✓ Coût / budget prévu

Evaluation en 4 phases:

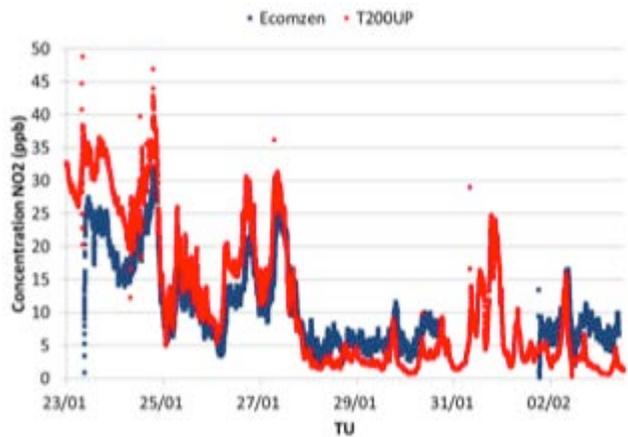
1. Etude bibliographique
2. Test / stations de référence
3. Test en conditions contrôlées
4. Test terrain en mobilité

Polluants ciblés	NO ₂ , O ₃ , COV, Formaldéhyde Particules fines, Black Carbon, LDSA (lung-deposited surface area)
Plage de mesure	O ₃ = 0 à 250 ppb NO ₂ = 0 à 500 ppb Black Carbon = 0 à 50 µg/m ³ Particules fines (PM10) = 0 à 1000 µg/m ³ PM2.5 = 0 à 1000 µg/m ³
Seuil de sensibilité	Le fabricant devra le spécifier (exemple : (+) 5ppb – Particules : 1 µg/m ³ , 0.1 µg/m ³ sur BC)
Fréquence d'acquisition	Idéalement inférieure à 5 minutes (le fabricant devra la spécifier)
Dérive à long terme	À préciser pour 24 heures, une semaine et un mois
Dimensionnement de l'expérimentation	- 2x80 participants, 10 à 20 en // - 2 campagnes annuelles de 6 semaines
Calibration	- préciser les procédures de calibration - fréquence des calibrations - standard à utiliser

Tests des capteurs

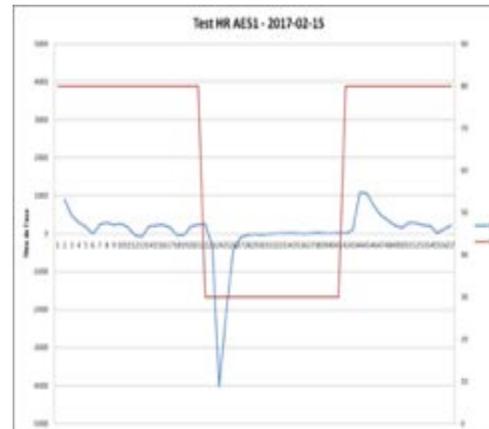
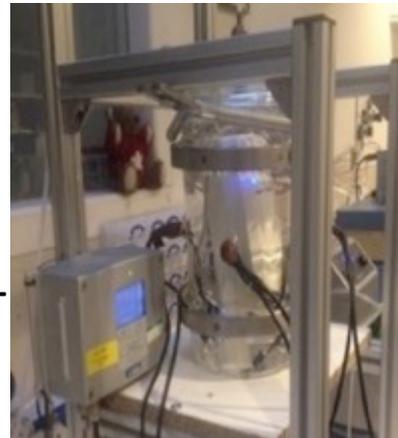
➤ Test en extérieur près des instruments de référence de la station

SIRTA / LSCE



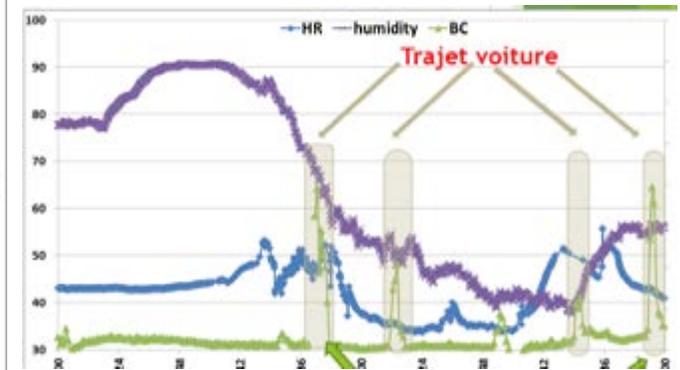
➤ Tests en chambre avec contrôle de conditions climatiques

Airparif



➤ Tests en mobilité / milieux divers

Cerema - LSCE - Airparif



Evaluation des capteurs - Bilan

Capteurs retenus :



AE51 (Black Carbon)



Canarin (PM)



Cairsens (NOx)

Crédit fabricants

Des avancées mais des limites

- **Résultats contrastés** entre les différents capteurs testés : données parfois aléatoires et peu reproductibles entre appareils différents
- **Pertes de données** pour plusieurs capteurs
- Seul le **capteur de Black Carbon est très fiable (retenu)**
- Seuls **deux capteurs (PM et NO₂) mesurent correctement la tendance (retenus)**
- Solutions **diverses** en termes d'ergonomie, de connectivité, ... et **peu intégrées**
- Pour couvrir les polluant visés dans Polluscope, il a fallu combiner plusieurs capteurs dont les mesures sont exploitables et offrant un compromis entre les autres critères.

Le boîtier multi-capteurs idéal n'existe pas encore !

ACE-ICSEN WP 2.1

- Contexte et objectifs
- Focus sur l'aspect santé
- Choix des capteurs
- Focus sur l'aspect données**

Objectifs du traitement des données

- **Exploiter** les données collectées **pour mieux cerner le phénomène d'exposition** à une mauvaise qualité de l'air : **qui, où, quand, combien et comment ?**
- **Etudier finement les liens** entre **l'exposition, l'activité et l'état de santé**
- **Evaluer l'apport des données participatives** à la **massification des mesures** de la qualité de l'air

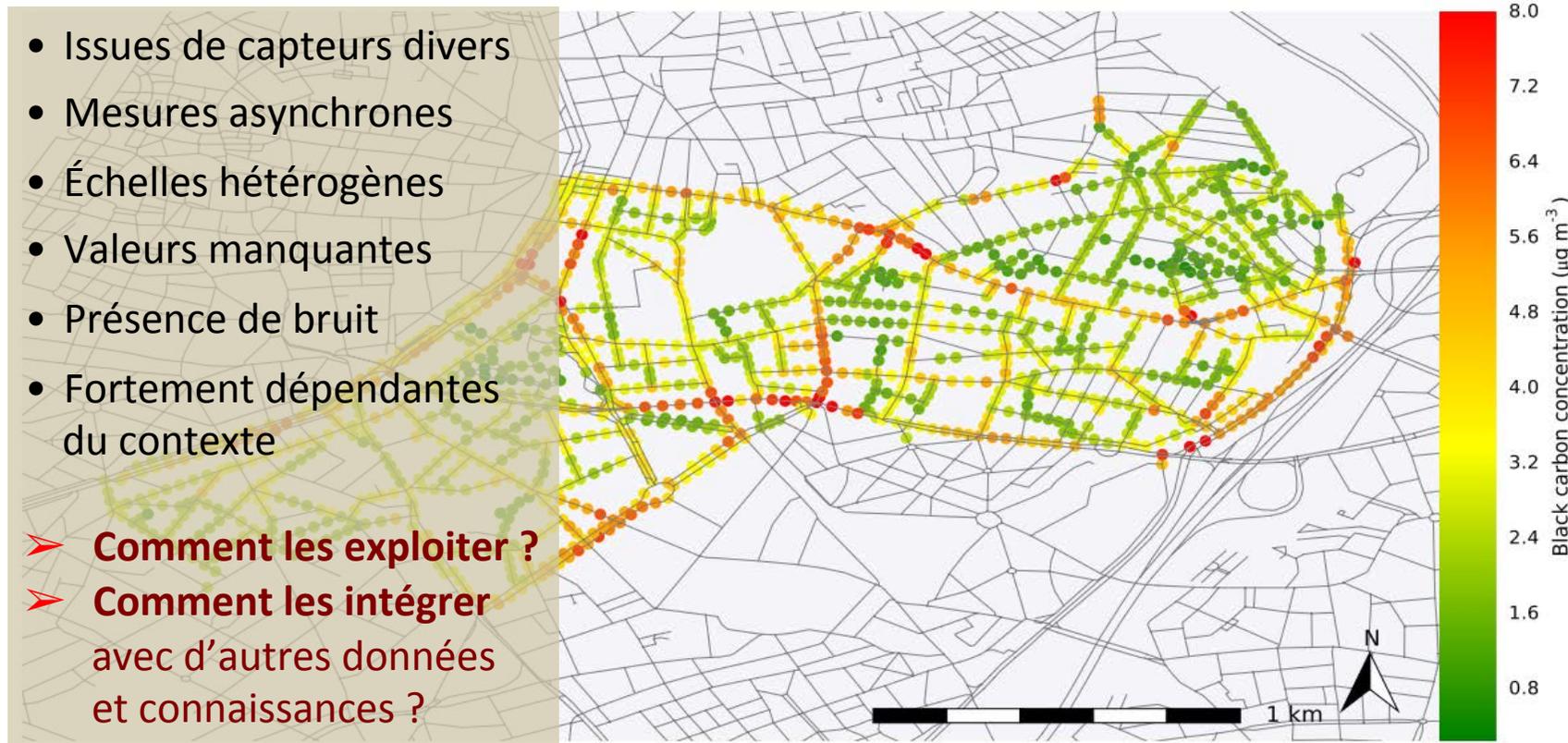
Tirer le meilleur profit de cette nouvelle source de données.

Spécificités des données

➤ Séries temporelles multi-variées et géo-localisées

- Issues de capteurs divers
- Mesures asynchrones
- Échelles hétérogènes
- Valeurs manquantes
- Présence de bruit
- Fortement dépendantes du contexte

- **Comment les exploiter ?**
- **Comment les intégrer avec d'autres données et connaissances ?**



Carte de BC - Ref. (J. Van den Bossch et al. 16)

J. Van Den Bossche *et al.*, "Opportunistic mobile air pollution monitoring: A case study with city wardens in Antwerp," *Atmospheric Environment*, vol. 141, p. 408-421, 2016.

Proposition

Modèle de données basé fonctions

Données en entrée : $(t, \text{mesures})$ et $(t, \text{longitude}, \text{latitude})$ parfois asynchrones, bruitées et incomplètes.



Représenter *l'interpolation* au lieu des données brutes !

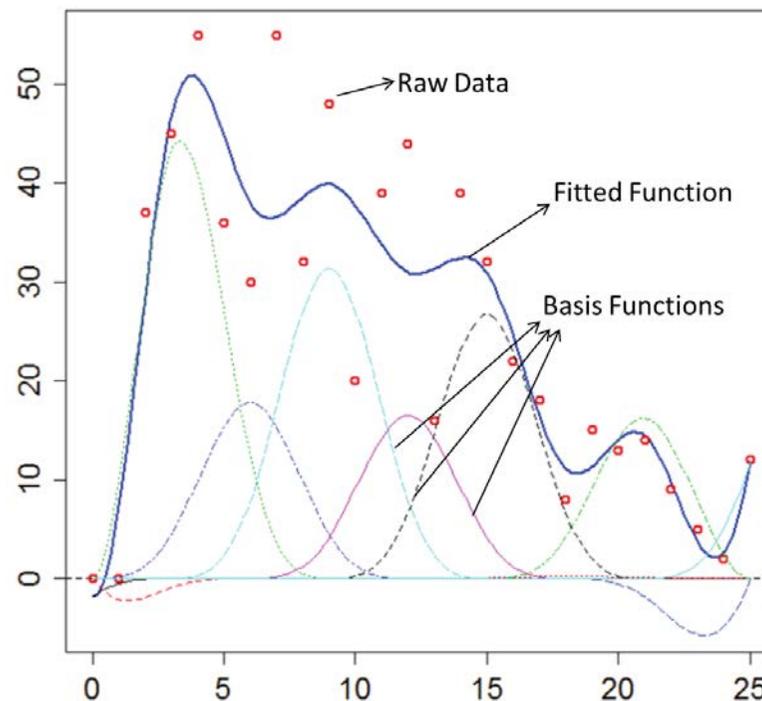


Illustration FDA
(Ramsay & Silverman, 2005)

Ramsay, J. O. (James O.) and B.W. Silverman (2005). Functional data analysis. Springer

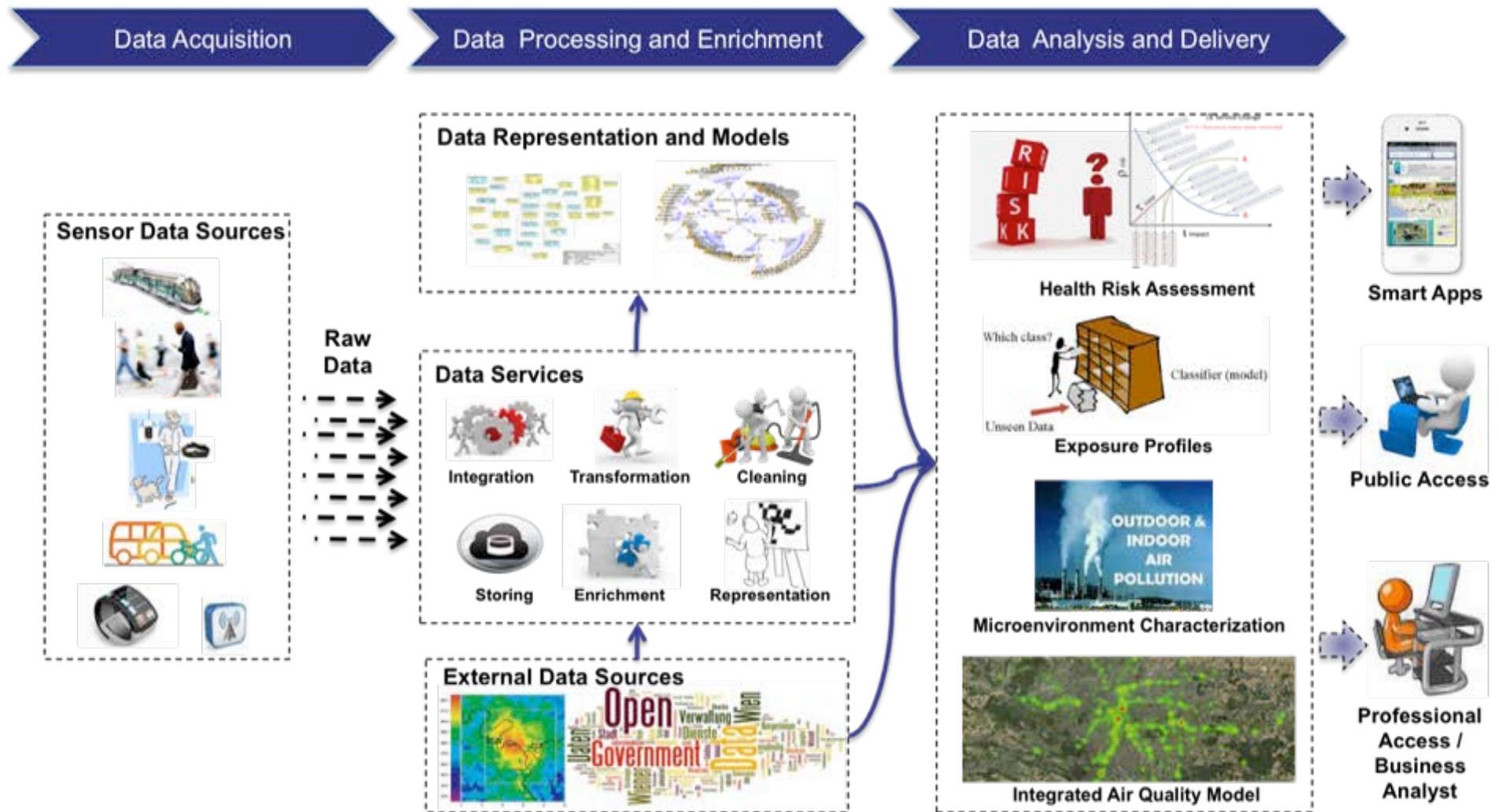
Challenges : Variété et Volume

- **Même limitées en territoire et en nombre de participants, les données sont hétérogènes et leur volume parfois conséquent :**
 - Données de mesures de capteur individuel (XLSX - ~ 5Mo/jour)
 - Données de suivi GPS (CSV - ~ 100Mo/jour)
 - Données d'annotation de déplacements (CSV - ~ 5Mo/jour)
 - Sorties de modèle de pollution (Airparif – NetCDF) - ~ 18Go/jour
 - Données de références (Shapefile – chargées une seule fois)
- ***Besoin d'une plateforme intégrant les techniques Big Data***
 - Offrant une représentation des mesures comparables et intégrables à d'autres sources
 - Des outils d'analyse avancés multi-dimensionnelle et multi-échelle pour transformer les données brutes en connaissances exploitables
 - Enrichissement et extraction de connaissances par fouille de données

Plateforme en cours de développement

Plateforme de données Polluscope

Architecture Fonctionnelle



Synergie Polluscope – ACE-ICSEN

➤ Renforcement de la dimension « Santé » et ajout d'une dimension socio-économique :

– Analyse d'impacts sur la santé :

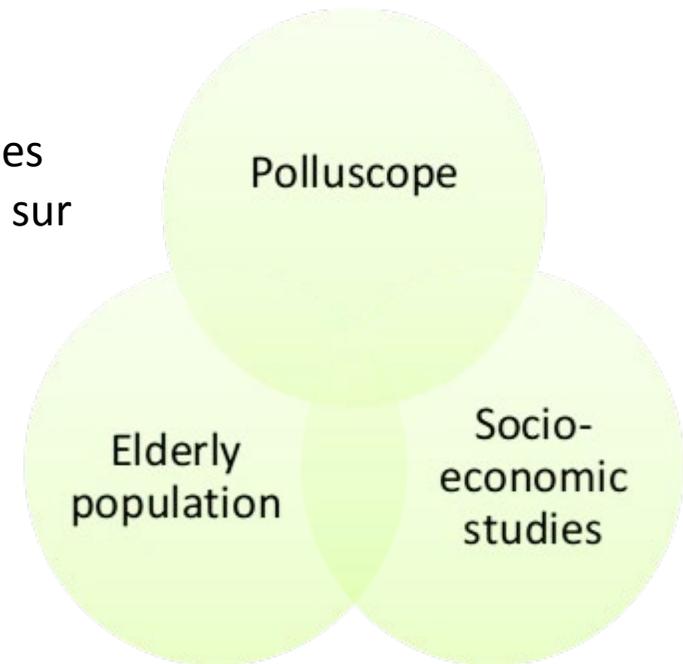
- **INSERM-UPMC** : Spécialistes d'exposologie & d'études épidémiologiques, population générale et vulnérable sur le plan respiratoire
- **VIMA**: Focus sur l'exposition des personnes âgées

– Impacts économique et social :

- **CEARC** : Changement de comportement, modèle économique de santé environnementale

➤ Mutualisation de la plateforme de Données et Services

- **DAVID** : Développement de services d'accès, de traitement et d'extraction de connaissances dédiés au contexte du monitoring participatif de l'environnement



MERCI POUR VOTRE ATTENTION