



La qualité de l'air en France : bilan et perspectives

Laurence ROUÏL – laurence.rouil@ineris.fr

Responsable du pôle Modélisation Environnementale et Décision

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Cadre réglementaire actuel pour la gestion de la pollution atmosphériques

SO₂, O₃, NO₂,
PM₁₀, PM_{2.5}, C₆H₆,
CO, Pb, Ni, Cd, BaP

SO_x, NO_x,
NH₃, COVNM,
PM_{2.5}

Surveillance de la qualité de l'air

Directives 2008/50/CE et
2004/107/CE

Arrêté Surveillance du 19 avril
2017

Arrêté Mesure d'urgence 7
avril 2016 modifié le 26 aout
2016

→ Valeurs limites et objectifs
de qualité pour les polluants
atmosphériques

Réseaux de
mesure

Modélisation/
cartographie/
prévision/
tendances

Modélisation
prospective

Réduction des émissions de polluants atmosphériques

Protocole de Göteborg (CEE-NU,
2012)

Directive sur les plafond
nationaux d'émissions (NEC
révisée 2016/2284/UE)
Directive sur les émissions
Industrielles (2010/75/UE)

Arrêté PREPA du 10 mai 2017

→ Plafonds d'émissions et jeux
de mesures associés, valeurs
limites d'émissions sectorielles,
mesures

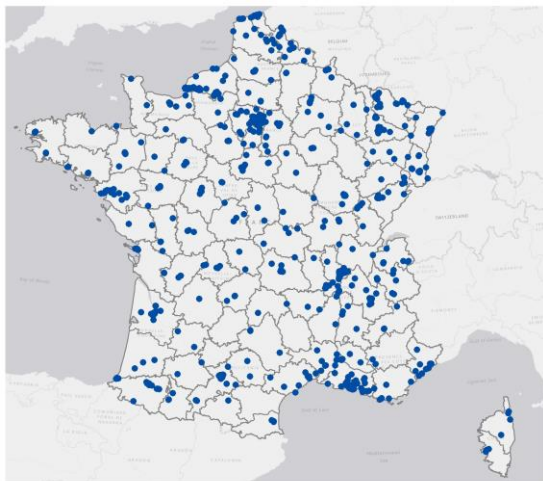
Surveillance opérationnelle
Gestion épisodes

Evaluation des
impacts

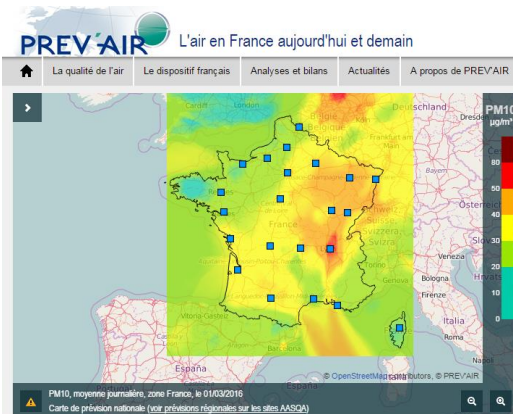
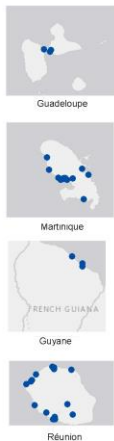
Scénarisation

- Dispositif de surveillance opéré par les 18 associations agréées de surveillances (AASQA)
 - Réseau de mesure fixe homologué et conforme aux directives européennes
 - Outils de modélisation et de prévision
 - Inventaires d'émissions régionaux (IRS) conforme au référentiel national
- Coordination réalisée par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA)
 - Définition et maintenance du référentiel national de surveillance (outils et méthodes)
 - Evaluation techniques de méthodes
 - Assurance qualité, audit
 - Rapportage réglementaire
- PREv'air : plate-forme nationale de prévision de la qualité de l'air (en collaboration avec Météo France et le CNRS)
- CARA : dispositif de mesure de la composition chimique des particules

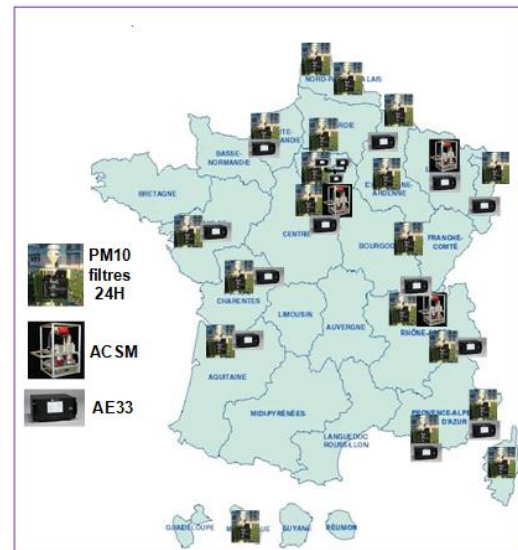
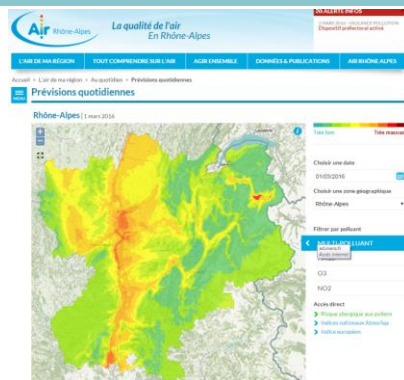
Réseaux de surveillance et modèles : une vraie complémentarité



Dispositif de surveillance réglementaire



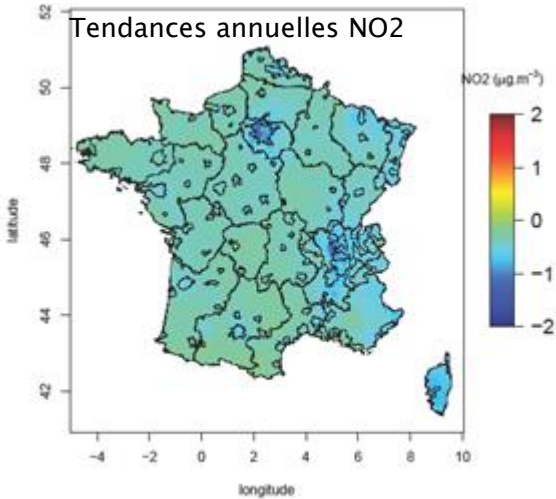
Prévision opérationnelle et cartographie



CARA : un réseau unique de surveillance de la composition des particules



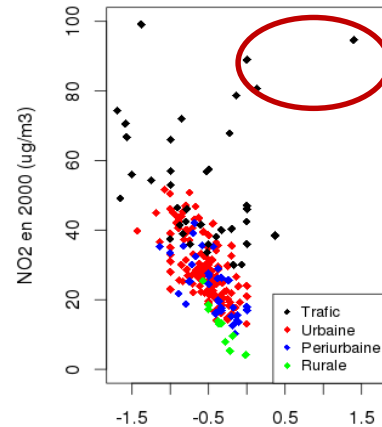
Une amélioration sensible de la qualité de l'air en France ces dernières années : pour le dioxyde d'azote



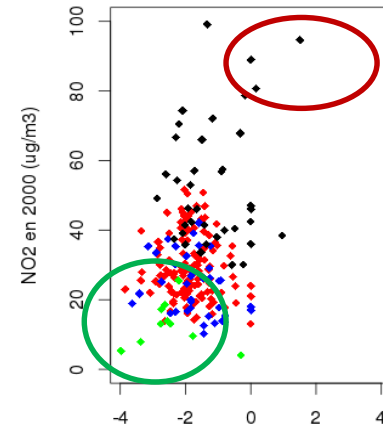
- Baisse de 17% des concentrations de dioxydes d'azote entre 2000 et 2010, s'accroissant au-delà de 2010
- Des progrès plus marqués dans les grande agglomérations et dans l'est du pays

Les améliorations relatives les plus importantes concernent les stations rurales et de fond urbain

Tendance absolue (ug/m3/an)

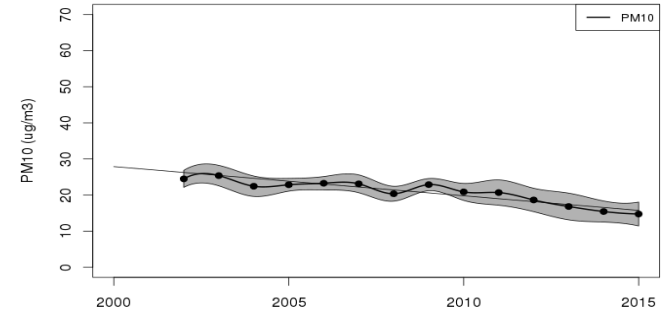
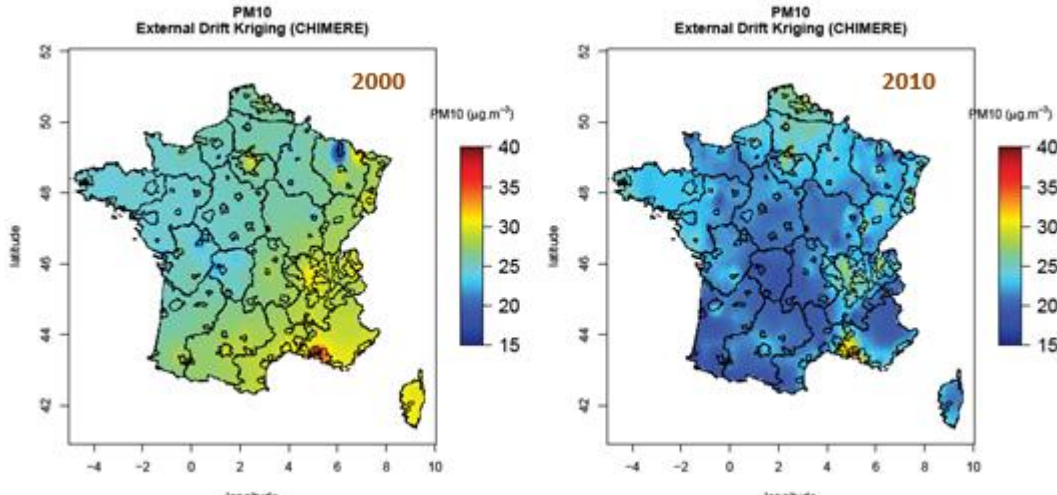


Tendance relative (%/an)



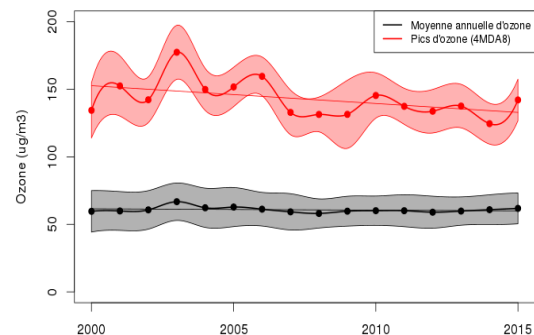
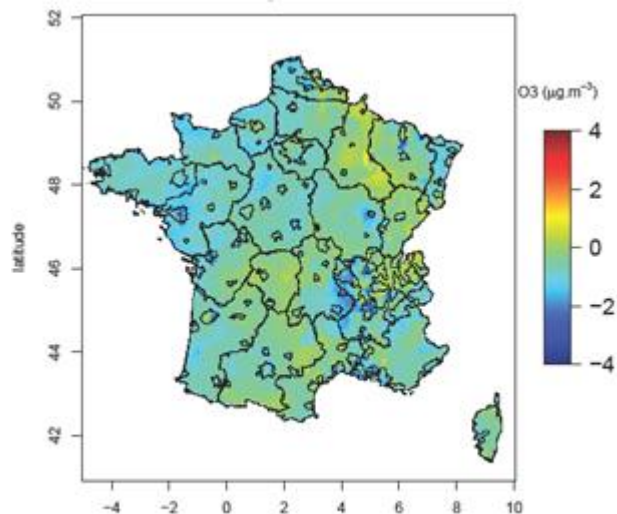
Hausse très localisée en zone trafic

Le cas des particules PM10



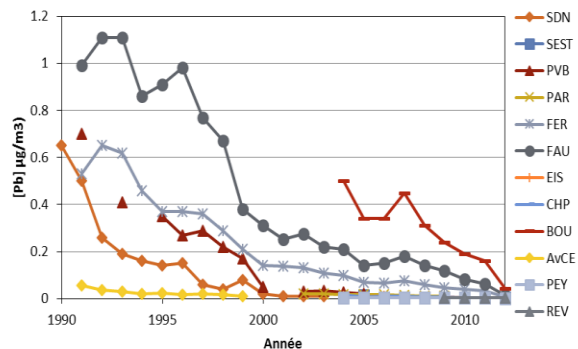
- Baisse de **22 à 45%** des concentrations annuelles de **PM10** entre 2000 et 2015, selon la typologie des sites
- Toutes les régions sont concernées par cette amélioration, même si certaines zones connaissent des concentrations encore élevées
- Le nombre de stations dépassant le seuil de 50 µg/m³ plus de 35 jours par an a diminué de **75 (trafic) à 88 (fond) %** entre 2000 et 2015

Le cas de l'ozone

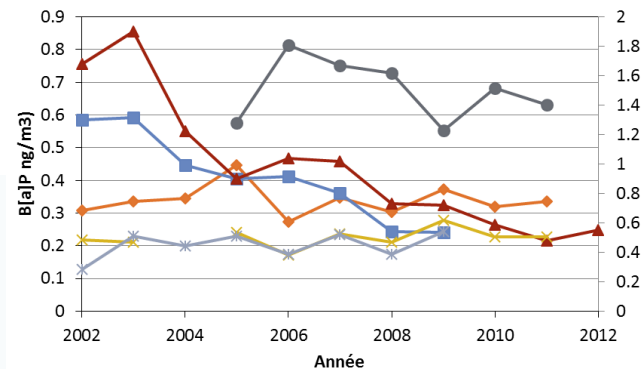
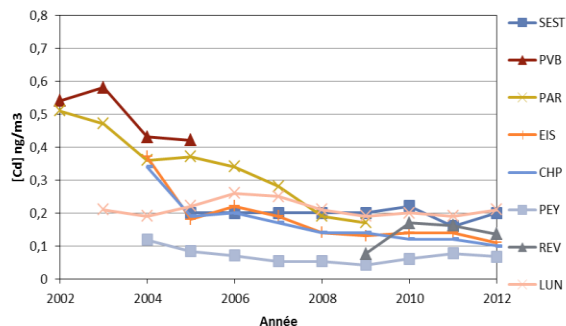


- Pas de tendances significative concernant les moyennes annuelles d'ozone dans la période
- Légère tendance à la baisse des pics (près de 4%) mais nuancée par la forte variabilité météorologique
- La diminution des concentrations d'oxydes d'azote dans les zones les plus urbanisées peut induire des hausse locales de concentrations d'ozone (neutralisation de la titration)

Le cas des métaux lourds et des HAPs

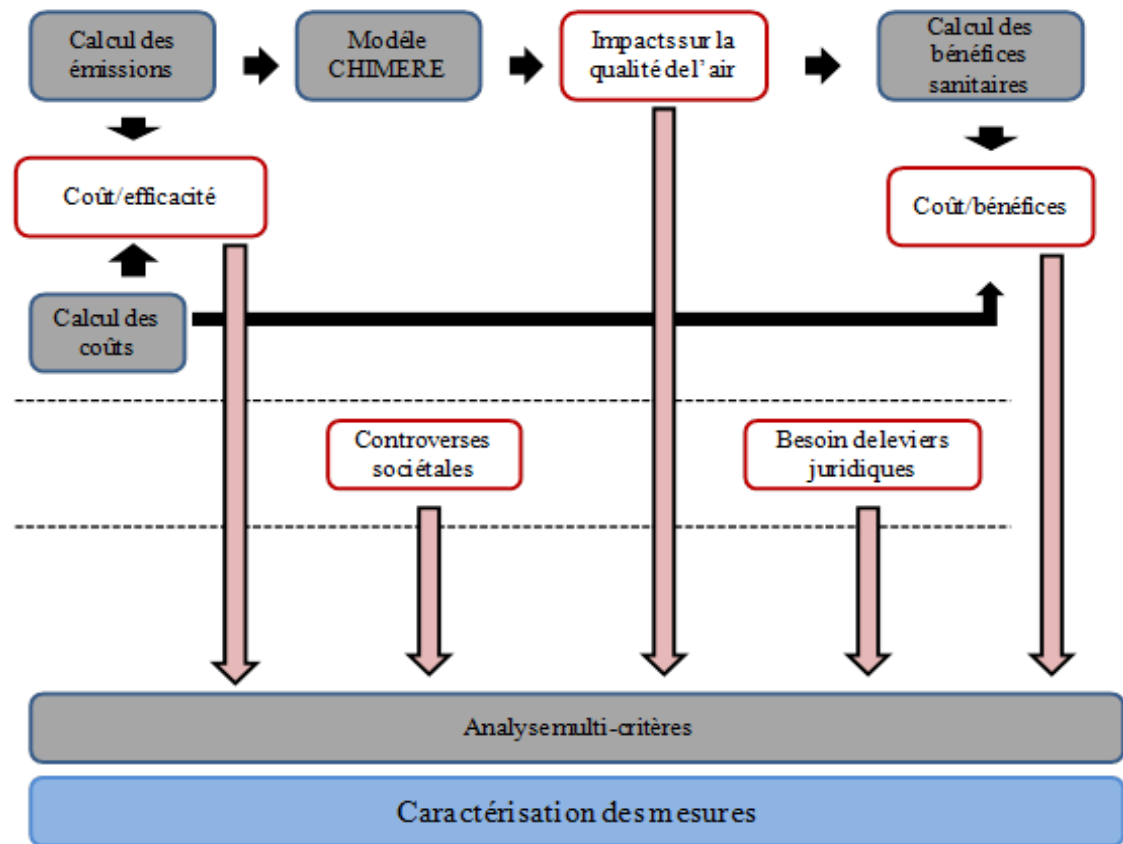


Baisse généralement constatée des concentrations en métaux lourds



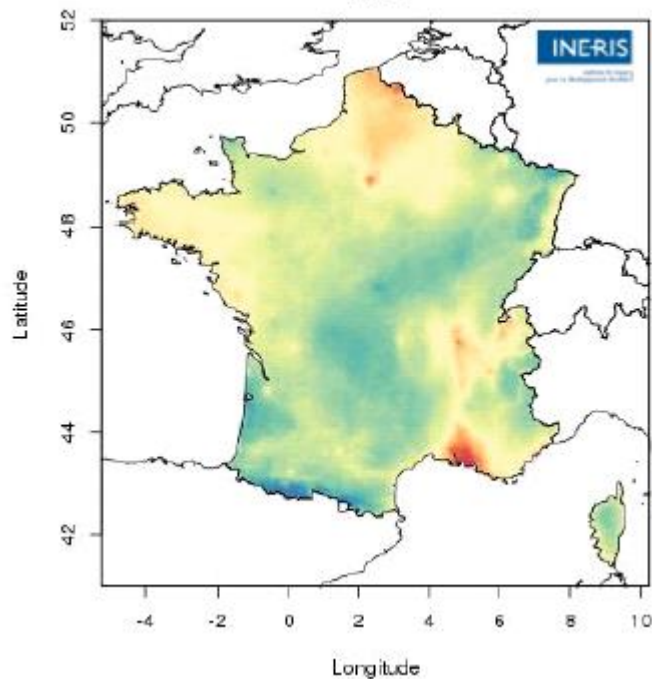
Bilan plus mitigé pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), avec une forte dépendance aux sites de mesure

Le PREPA: le plan national de réduction des polluants atmosphériques

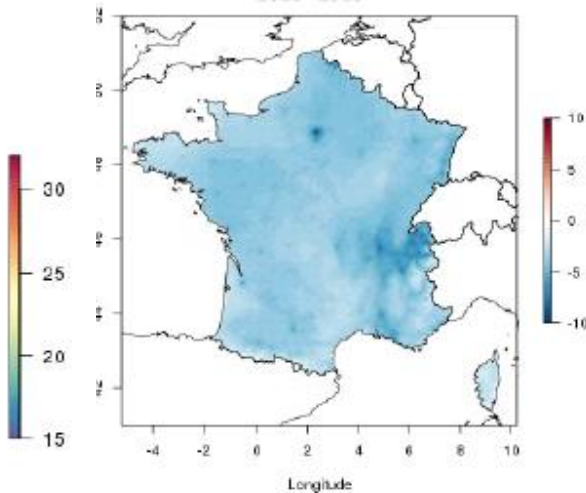


Les impacts du PREPA : PM10

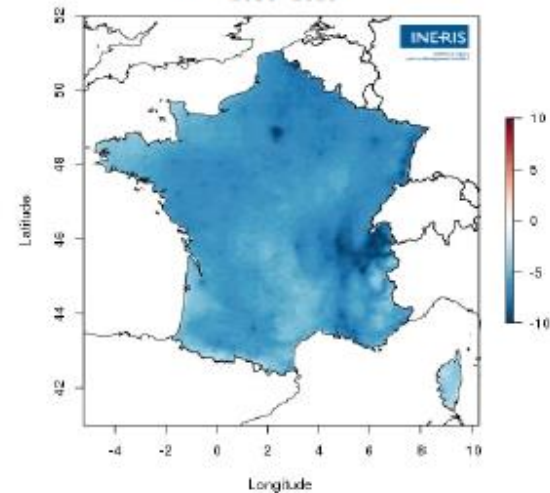
Concentrations PM₁₀ en microg/m³
2010



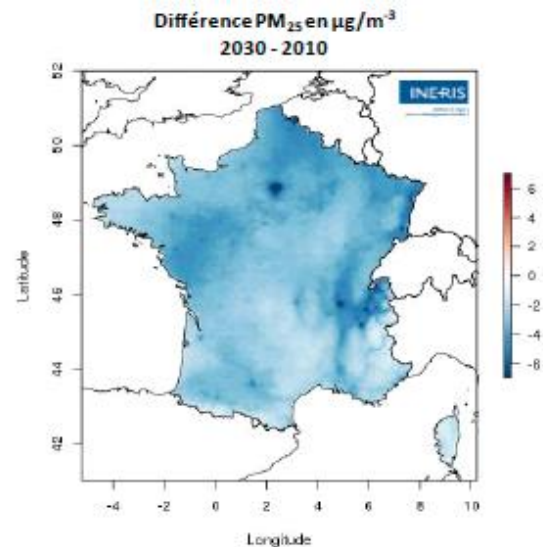
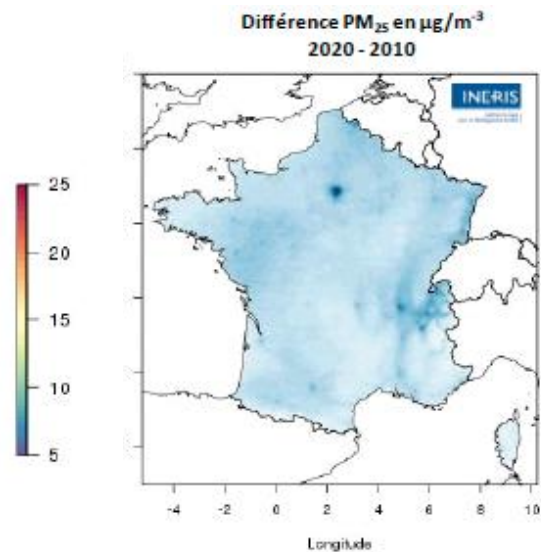
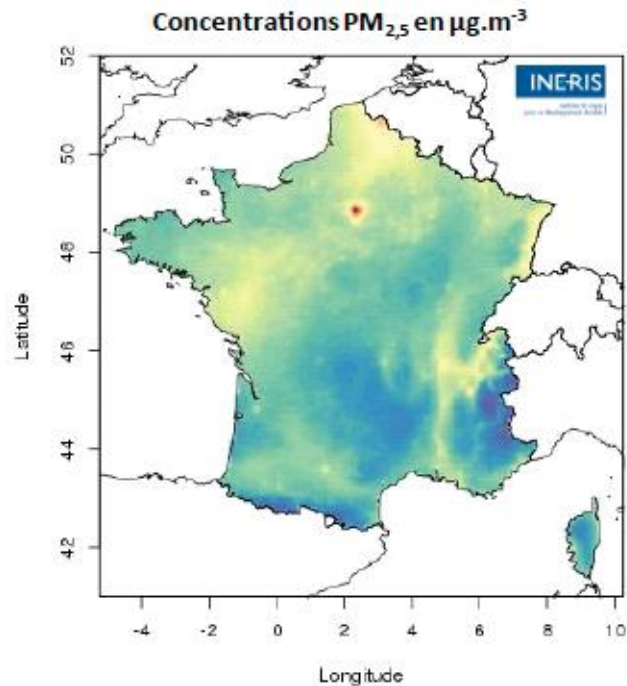
Différence PM₁₀ en µg/m³
2020 - 2010



Différence PM₁₀ en µg/m³
2030 - 2010

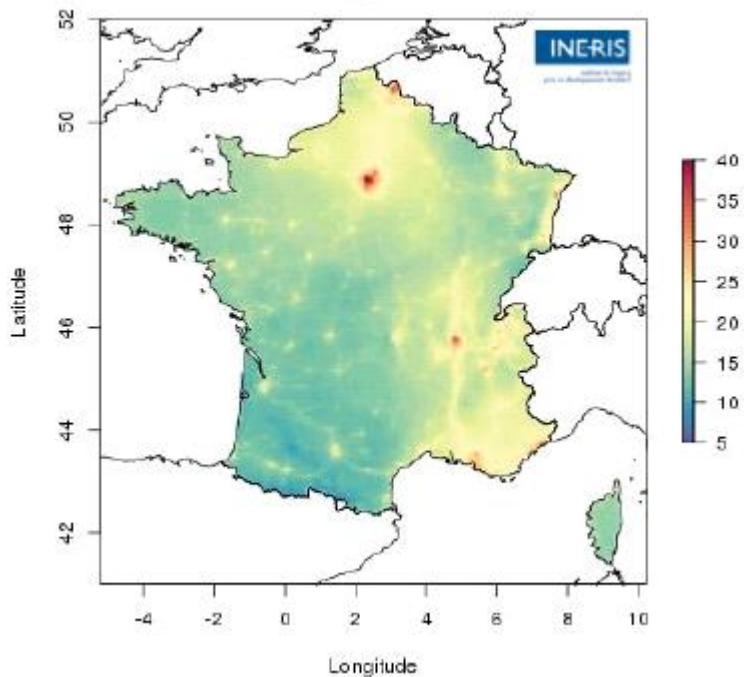


Les impacts du PREPA : PM_{2.5}

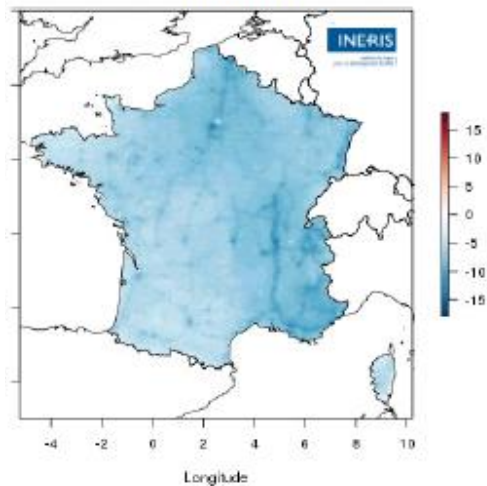


Les impacts du PREPA : le dioxyde d'azote

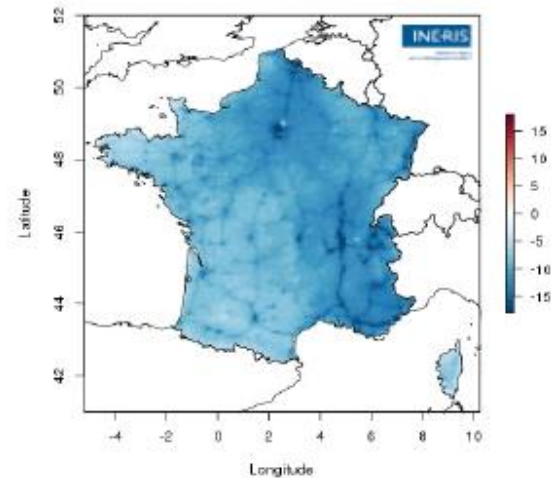
Concentrations NO₂ en microg/m³
2010



Différence NO₂ en µg/m³
2020 - 2010

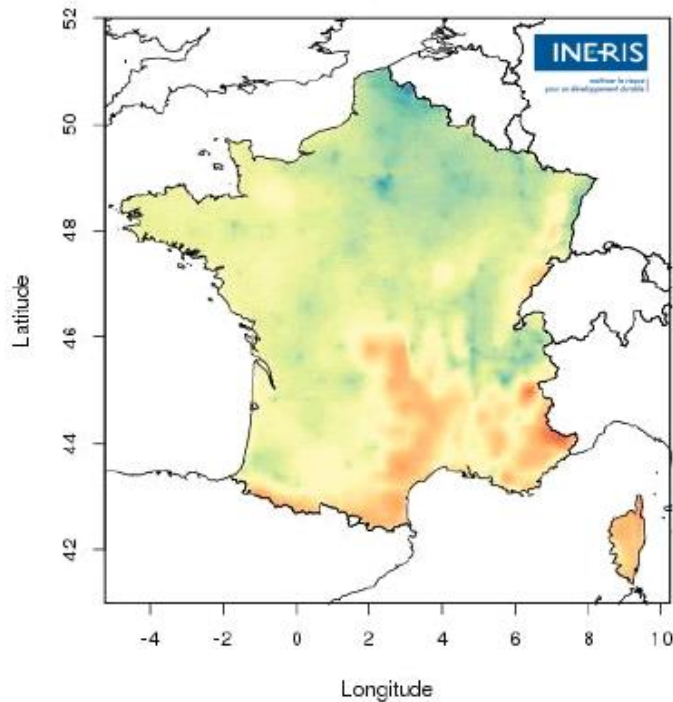


Différence NO₂ en µg/m³
2030 - 2010

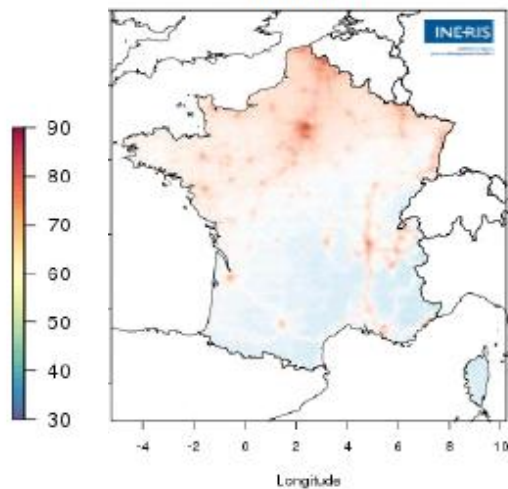


Les impacts du PREPA : l'ozone

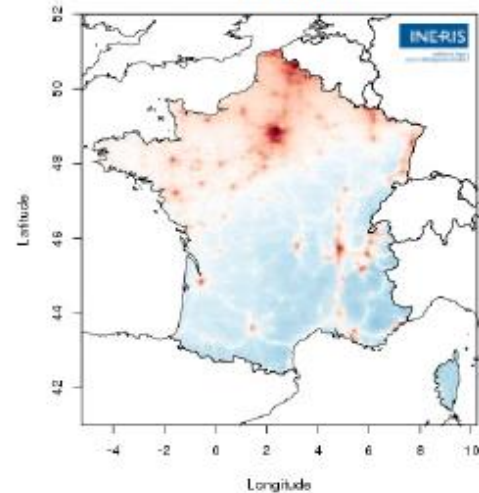
Concentrations O₃ en microg/m³
2010



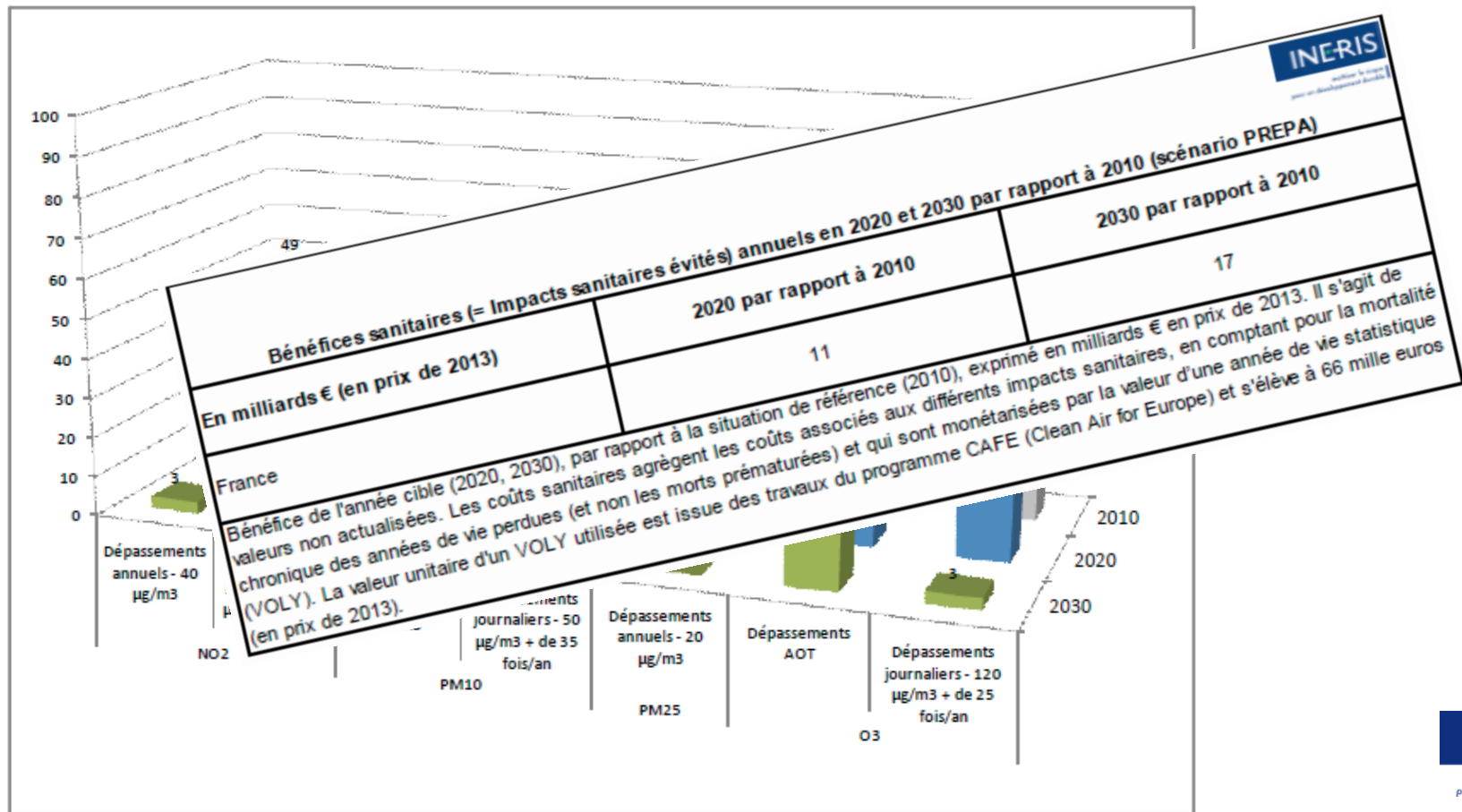
Différence O₃ en µg/m³
2020 - 2010



Différence O₃ en µg/m³
2030 - 2010



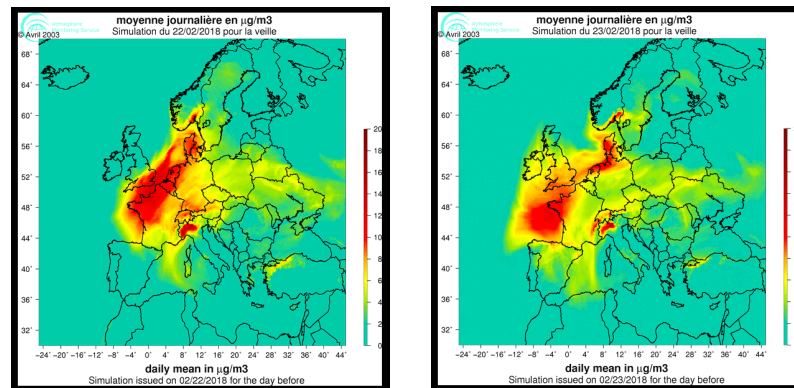
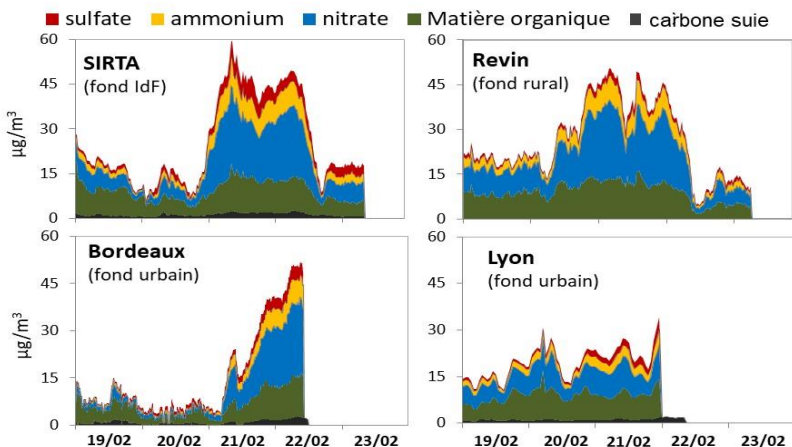
Impacts du PREPA sur les dépassements réglementaires



Quelles priorités pour le futur (i) ?

Particules

- **Contribution des émissions d'ammoniac issues de l'agriculture aux épisodes de pollution**
Compréhension et prise en compte de la variabilité temporelle des émissions
 - Apport possible de l'observation spatiale (instrument IASI)
 - Faire le lien avec les pratiques agricoles qui doivent encore être mieux caractérisées (cf épisode de pollution du 21-22 février 2018)



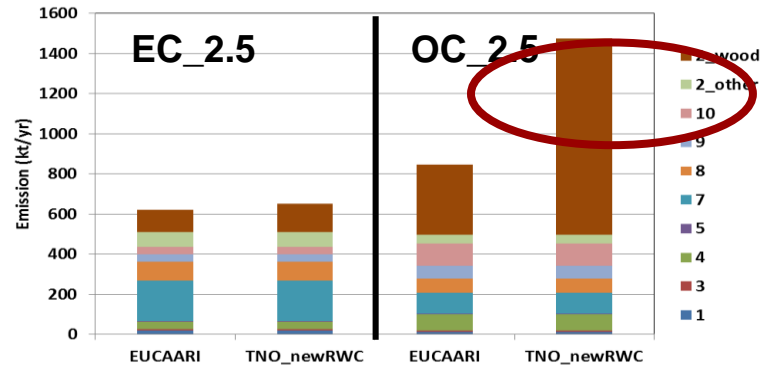
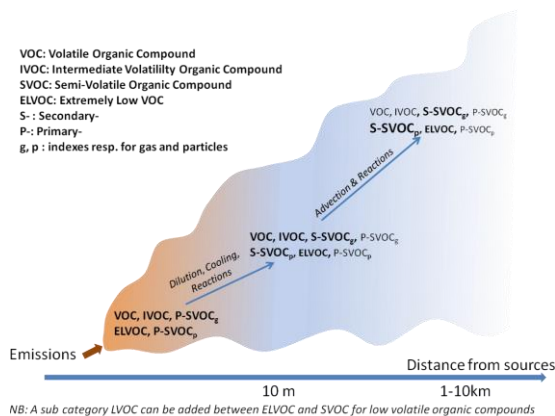
Concentrations en nitrate d'ammonium les 21 et 22 février 2018

- **Qualification du rôle des émissions d'ammoniac issues du trafic routier (technologie type adblue)**

Quelles priorités pour le futur (ii) ?

Particules

- Les condensables : une part oubliée des émissions de particules ?
 - Contribution aux particules fines qui se forme par condensation d'une certaine catégorie de composés organiques volatils peu après leur émission
 - Incertitude sur leur prise en compte dans les inventaires d'émissions et dans les modèles
 - Un sujet particulièrement sensible puisqu'il impacte directement les objectifs de réduction des émissions



La qualification et la quantification des émissions réelles :

- Pour les émissions du trafic routier (« real-world driving emissions »)
- Pour les émissions du chauffage au bois
- Développer la complémentarité entre émissions/modèles/mesures : une vraie opportunité pour l'INERIS
- Essentiel pour prendre les bonnes décisions de gestion de la qualité de l'air.

Déterminer la bonne échelle pour l'action

- Complémentarité de l'action locale avec l'action nationale et sectorielle (ex: normes Euro/RDE et politiques urbaines)
- Qualifier le rôle de la pollution à longue distance sans tomber dans la caricature (ex: centrales à charbon allemandes)
- Réhabiliter la complémentarité des politiques énergie/climat/qualité de l'air
- Une question non clôturée : l'ozone

■ Impacts sanitaires

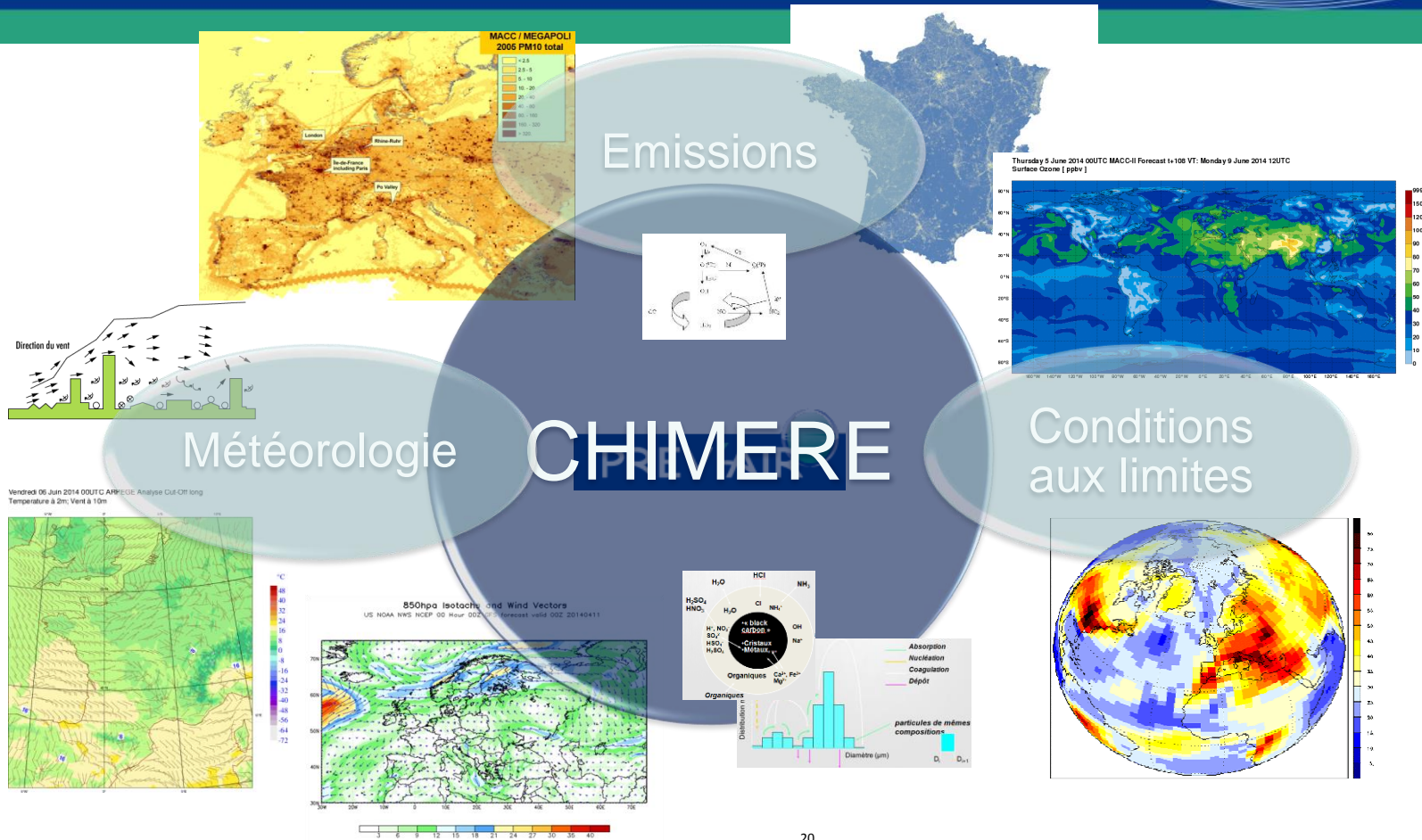
- Les effets du dioxyde d'azote : l'OMS doit publier dans les années à venir une révision très attendue de ces « guidelines »
- Impact des épisodes de pollution particulaire sur la santé et influence de la toxicité des composés chimiques : le traceur PM2.5 reste cependant la référence actuelle pour l'OMS
- Les particules ultrafines : un point de vigilance pour les années à venir

■ Impacts sur les écosystèmes

- Les effets des émissions et dépôts atmosphériques des composés azotés ont un effet délétère sur les écosystèmes et la biodiversité (eutrophisation) : il s'agit d'une des priorités pour la mise en œuvre de la directive sur les plafonds nationaux d'émissions
- Question de l'ozone (également du point de vue sanitaire) qui peut s'avérer plus sensible sous l'effet des changements globaux

Merci de votre attention

CHIMERE un modèle de chimie-transport :



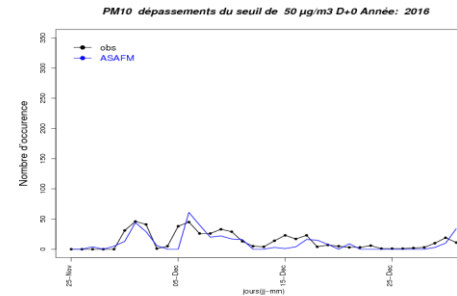
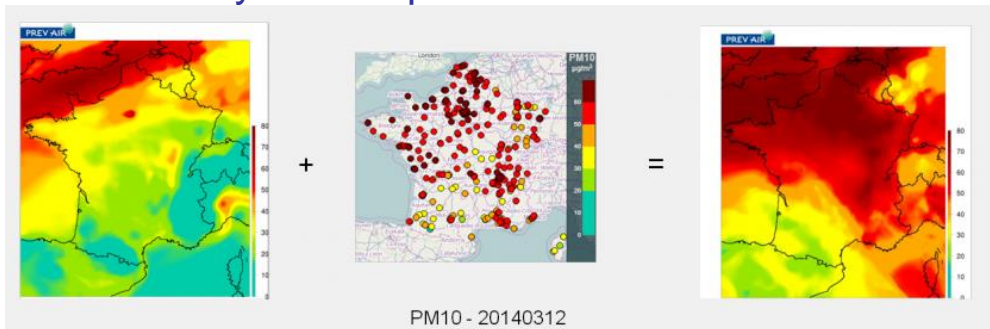
- **La prévision de la qualité de l'air** : un outil scientifique, une vitrine et un outil de communication
 - **Été 2003**: mise en place par le CNRS et l'INERIS d'une chaîne expérimentale de prévision de l'ozone .
 - **Août 2003**: record historique des niveaux d'ozone en France
 - **Novembre 2003**: « Plan air » pérennisant le système PREV'air

 - **Dès 2002** : anticipation de l'enjeu des particules et développement à l'INERIS d'un modèle de particules et intégration dans le code CHIMERE
 - **2007** : Après les épisodes de particules, intégration du module dans la chaîne de prévision PREV'air. Mise en évidence du rôle des émissions d'ammoniac et des poussières telluriques

 - **Arrêté « Mesure d'Urgence » du 7 avril 2016 (modifié le 26 août 2016) prévoit le déclenchement de mesures de gestion court terme sur la base des prévisions**
 - **Arrêté « surveillance » du 19 avril 2017 officialise la mission de PREV'air dans le dispositif national de surveillance**

Les enseignements de la prévision

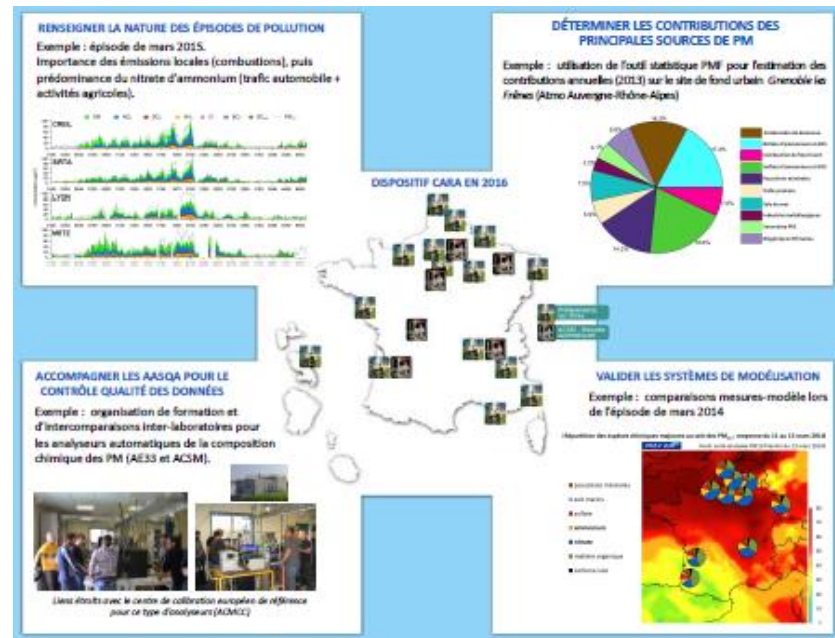
- Analyse quotidienne des performances du système,
 - Analyse des niveaux de concentrations prédits, de leur distribution géographique, de la composition des particules
 - Paradoxalement les indicateurs liés aux dépassements de seuil ne constituent pas la priorité
- Travaux sur l'assimilation des données d'observation pour produire les meilleures estimations cartographiques possibles et sur l'adaptation statistique pour corriger les biais systématiques du modèle



- Compréhension des phénomènes et mise en évidence des besoins de R&D : aérosols organiques secondaires sous-estimés, défauts dans les inventaires d'émission, dynamique de l'atmosphère mal appréhendée..

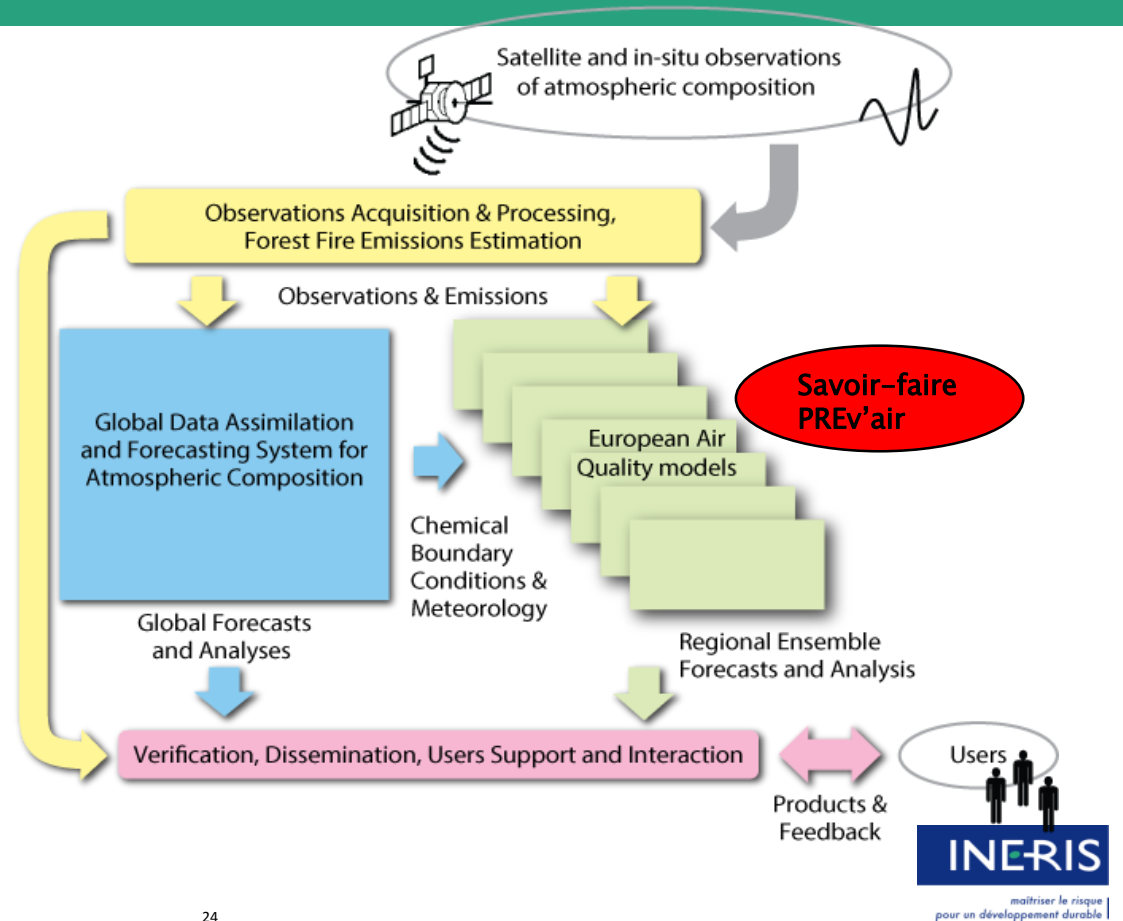
Evolutions les plus récentes de PREv'air

- Portage sur le super-calculateur de Météo France en avril 2017 – Renforcement du partenariat et des performances
- Augmentation de la résolution des calculs (4km sur la France) et amélioration des performances
- Couplage avec le dispositif CARA (INERIS/LCSQA) de surveillance de la composition des particules
 - Les résultats du modèle sont-ils bons pour les bonnes raisons ?



Une stratégie pilotée par les enjeux européens...

- CARA : dispositif unique en Europe et interactions à établir avec les infrastructures de recherche européennes en construction (ACTRIS)
- PREv'air : interactions fortes avec le programme Copernicus



La qualification et la quantification des émissions réelles :

- Pour les émissions du trafic routier (« real-world driving emissions »)
- Pour les émissions du chauffage au bois
- Développer la complémentarité entre émissions/modèles/mesures : une vraie opportunité pour l'INERIS
- Essentiel pour prendre les bonnes décisions de gestion de la qualité de l'air.

Déterminer la bonne échelle pour l'action

- Complémentarité de l'action locale avec l'action nationale et sectorielle (ex: normes Euro/RDE et politiques urbaines)
- Qualifier le rôle de la pollution à longue distance sans tomber dans la caricature (ex: centrales à charbon allemandes)
- Réhabiliter la complémentarité des politiques énergie/climat/qualité de l'air
- Une question non clôturée : l'ozone

MERCI pour votre attention !



SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR : QUELS ENJEUX, QUELLES PERSPECTIVES ?

**Etudes des émissions et de l'impact sur la qualité de l'air
Exemples du chauffage au bois et des bâtiments d'élevage**

Travaux menés par A. Albinet, S. Collet, O.Favez, I. Fraboulet, F. Gautier, L. Zanatta

M. Durif – Responsable du pôle Caractérisation de l'Environnement



27 mars 2018 – Réunion « Société et médias »

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Le bois source d'énergie renouvelable

Développement du secteur résidentiel chauffage au bois / énergie renouvelable

- Pour faire **face aux enjeux climatiques**, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 prévoit de porter la **part des énergies renouvelables** à **23%** de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à **32%** en 2030.
- Le **bois énergie est la première source d'énergie renouvelable** (chaleur et électricité) utilisée en France, et la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) prévoit une contribution croissante pour :
 - ✓ la production électrique puisqu'elle doit passer de moins de 300 MW à fin 2014 à plus de 800 MW en fin 2023 (c'est-à-dire l'équivalent d'une croissance en équivalent production annuelle de 230 kTEP à 620 kTEP)
 - ✓ la production de chaleur (de 10 600 kTEP en 2013 à environ 13 500 kTEP en 2023).
- Pour les installations **de chauffage domestiques**, l'ambition au niveau national, mentionnée par l'ADEME, est de porter de **8 à 9 millions le nombre de logements chauffés** au bois d'ici à 2020, à consommation de bois constante.
- La combustion du bois est à l'origine d'émissions de polluants ; particulièrement dans le cas **d'appareils domestiques** où la combustion peut s'avérer incomplète à certaines allures. Tout l'enjeu est que ce développement utile à la lutte contre le changement climatique ait le moins possible d'impact sur la qualité de l'air

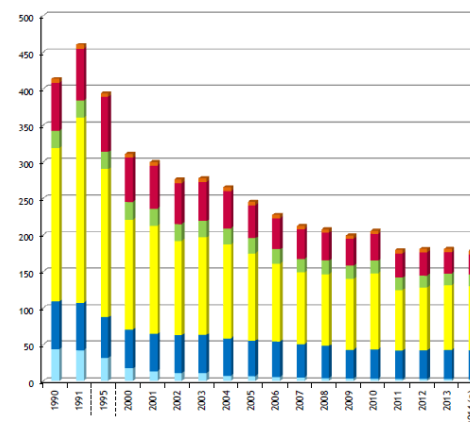
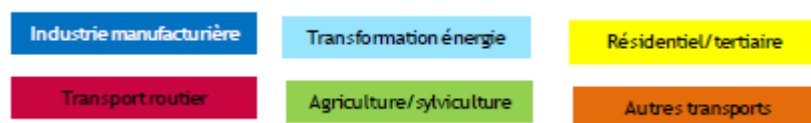
Emissions liées au chauffage domestique au bois

Développement du secteur résidentiel chauffage au bois / énergie renouvelable:

- Le bois 1ère source d'énergie renouvelable en France, 7,4 M d'utilisateurs en France dont 50% pour le chauffage principal (*source ADEME*)

Emissions de polluants :

- Polluants concernés: particules fines, composés organiques
- Principal émetteur du secteur résidentiel:
 - Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA SECTEN 2015), indique que la combustion de bois dans les foyers domestiques (chaudières, inserts, foyers fermés et ouverts, cuisinières, etc) contribue pour une large part en France aux émissions annuelles nationales d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (**HAP**) **59%**, de **benzène 58%** et de particules fines primaires (**PM2.5**) **44%**.
 - Évolution émissions atmosphériques par secteur (kt)



Source : CITEPA

Emissions liées au chauffage domestique au bois

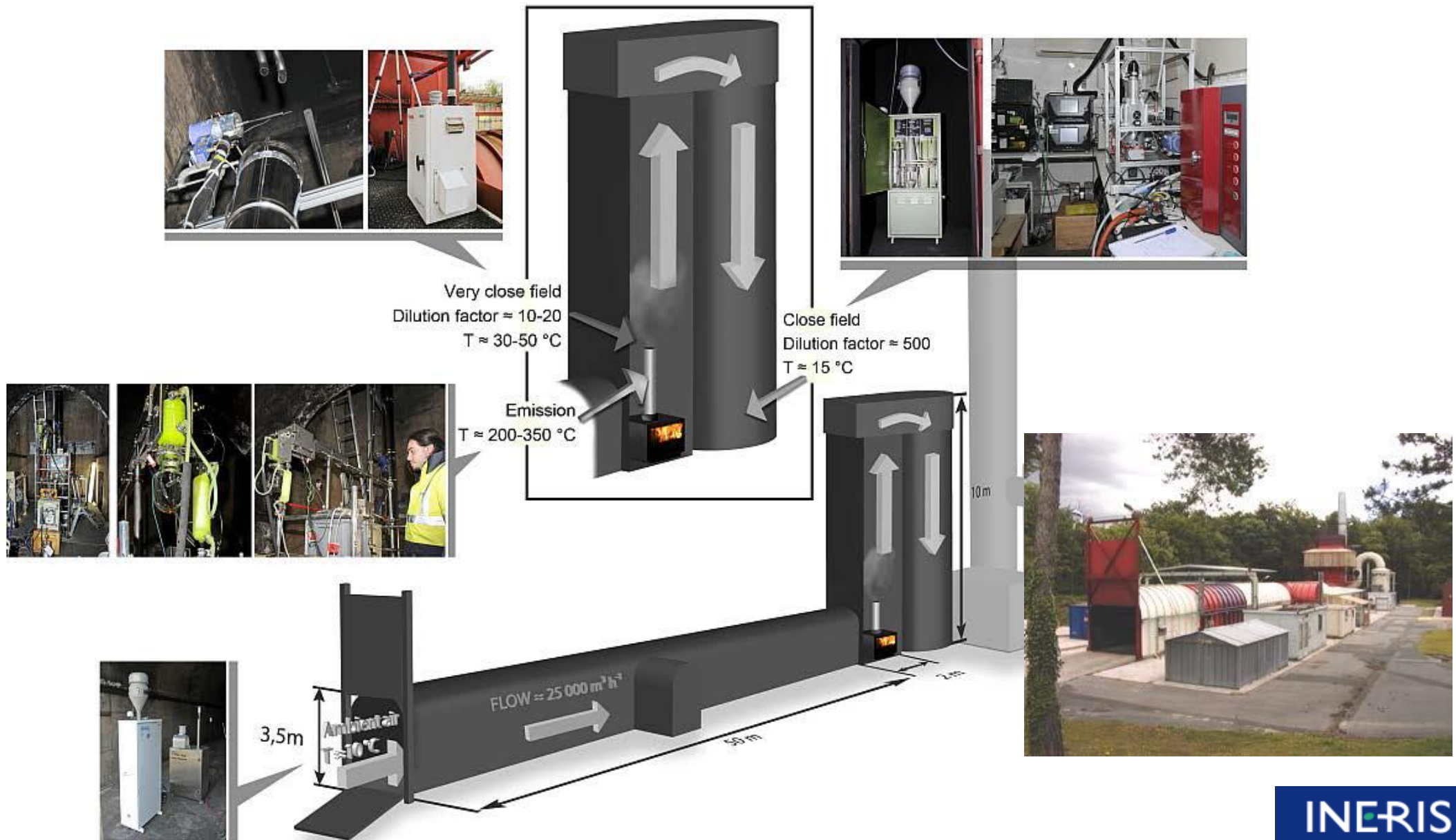
Emissions de la combustion domestique du bois

- Prédominance des particules fines ($< 1\mu\text{m}$)
- Importance également des Composés organiques volatils (COV) et semi volatils

Les particules issues des processus de combustion domestique de bois peuvent être divisées en deux catégories : primaires et secondaires.

- Les particules primaires (solides et liquides qui se condensent très rapidement) émises directement à l'atmosphère
- Les particules secondaires qui se forment dans l'atmosphère après émission de précurseurs gazeux. Dans le cas de la combustion du bois, l'aérosol secondaire est très majoritairement de nature organique (aérosol organique secondaire ou AOS)

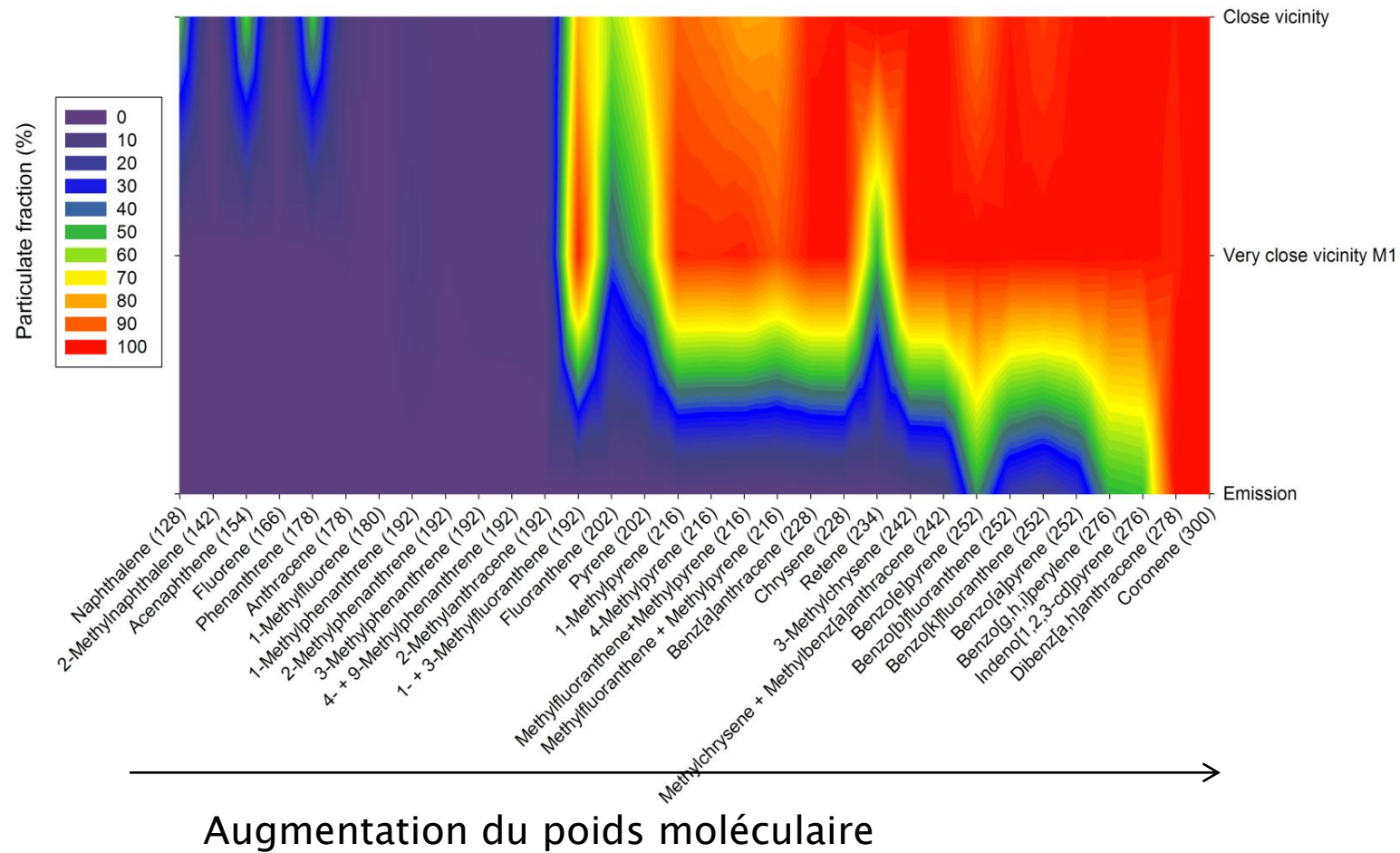
Illustration des processus de transformations des polluants sur une plateforme d'essai de l'INERIS - Etude CHAMPROBOIS, 2015



Comprendre les phénomènes d'évolution des émissions dans l'atmosphère en champ proche - Etude CHAMPROBOIS, 2015

Evolution des HAP entre l'émission et le champ proche

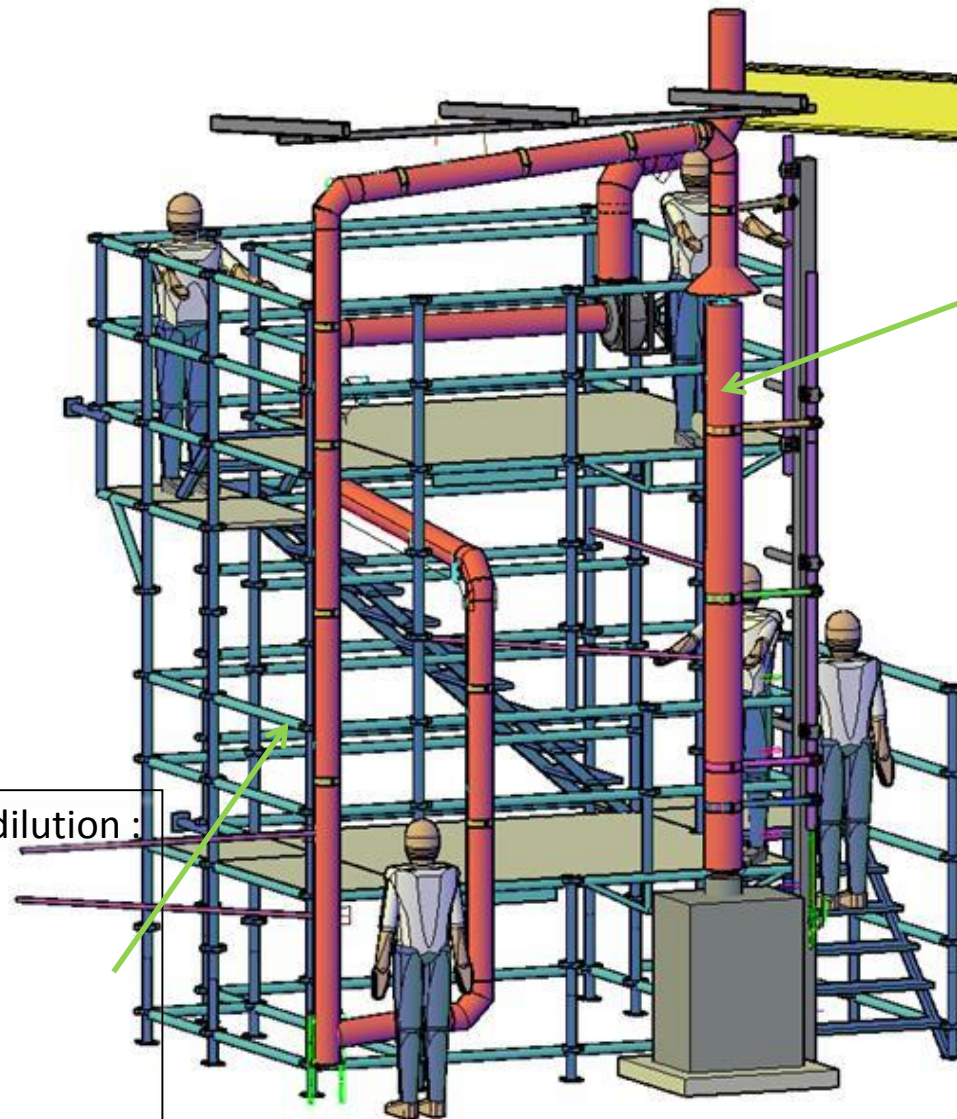
FV5* AN



Installation de test des émissions de l'INERIS – Banc vertical à dilution



Installation de test des émissions de l'INERIS – Banc vertical à dilution



Prélèvements tunnel à dilution :

- Débit, température
- CO, CO₂, NO_x
- CH₄, COVt
- BTEX, aldéhydes,
- EC/OC
- BC
- Lévo-glucosan

Prélèvements cheminée :

- Tirage, température
- CO, CO₂, O₂, NO_x (Horiba)
- CO (haute teneur) 0-10000 ppm (0-1%)
- HAP (23 éléments), humidité
- TSP (fr. solide et condensable)
- COVt

Améliorations des connaissances des émissions

Emissions très variables et liées à la qualité de la combustion, influences multiples (AFAC, 2001 & 2015)

- Privilégier des essences moins émissives :
 - hêtre < sapin (+60%) < chêne (+190%)
- Utiliser du bois sec :
 - bois sec (15% d'humidité) < bois humide (25% d'humidité) (+70%)
- Favoriser l'allure nominale (cf. notice constructeur) :
 - allure nominale < allure réduite (+110%)
- En France et à l'étranger (ex : Norvège) l'amélioration des performances des appareils neufs s'avère lente (réduction des émissions de particules de l'ordre de 2,5% par an lors des quinze dernières années). (Dégradation dans le temps possible)

Des émissions variables au cours d'un cycle de combustion (Identech, 2016)

- Sur un cycle complet, environ 80% des émissions polluantes ont lieu durant les 10 à 15 minutes après l'allumage à froid de la première charge bois ou à chaud des charges bois suivantes (rechargement). Réduire ce pic de pollution pourrait donc conduire à une réduction drastique des émissions polluantes
- Réduire la charge de bois introduite dans le foyer plutôt que les entrées d'air pour réduire l'allure de fonctionnement et la puissance délivrée par l'appareil

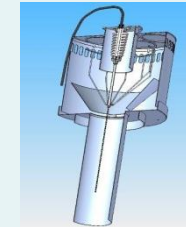
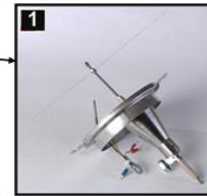
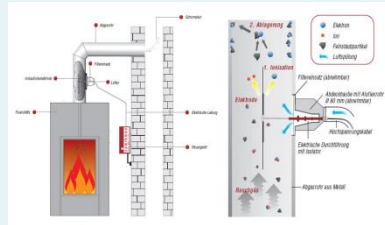
Certaines pratiques pourraient permettre de limiter les émissions (ERFI, 2017)

- Le mode d'allumage par le haut permettrait de réduire lors des allumages à froid de 30 à 50% des émissions polluantes sur un cycle complet de combustion

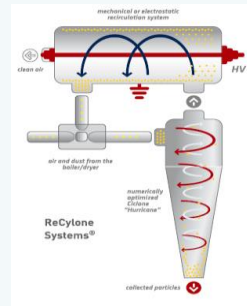
Techniques de réduction à installer sur les appareils existants

Technologies testées dans PEREN2BOIS 2012 et ERFI 2017

Filtres électrostatique inséré dans le conduit ou placé en sortie de cheminée



Cyclone optimisé numériquement



Filtres catalytique



Catalyseur MORFCAT



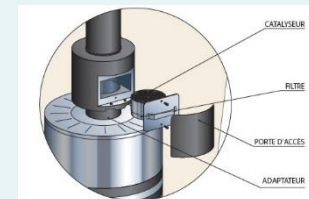
Détail des cellules artificielles



Position du catalyseur : « fonctionnement »



Position du catalyseur : « by pass »



Echangeur air/braises



Techniques de réduction à installer sur les appareils existants

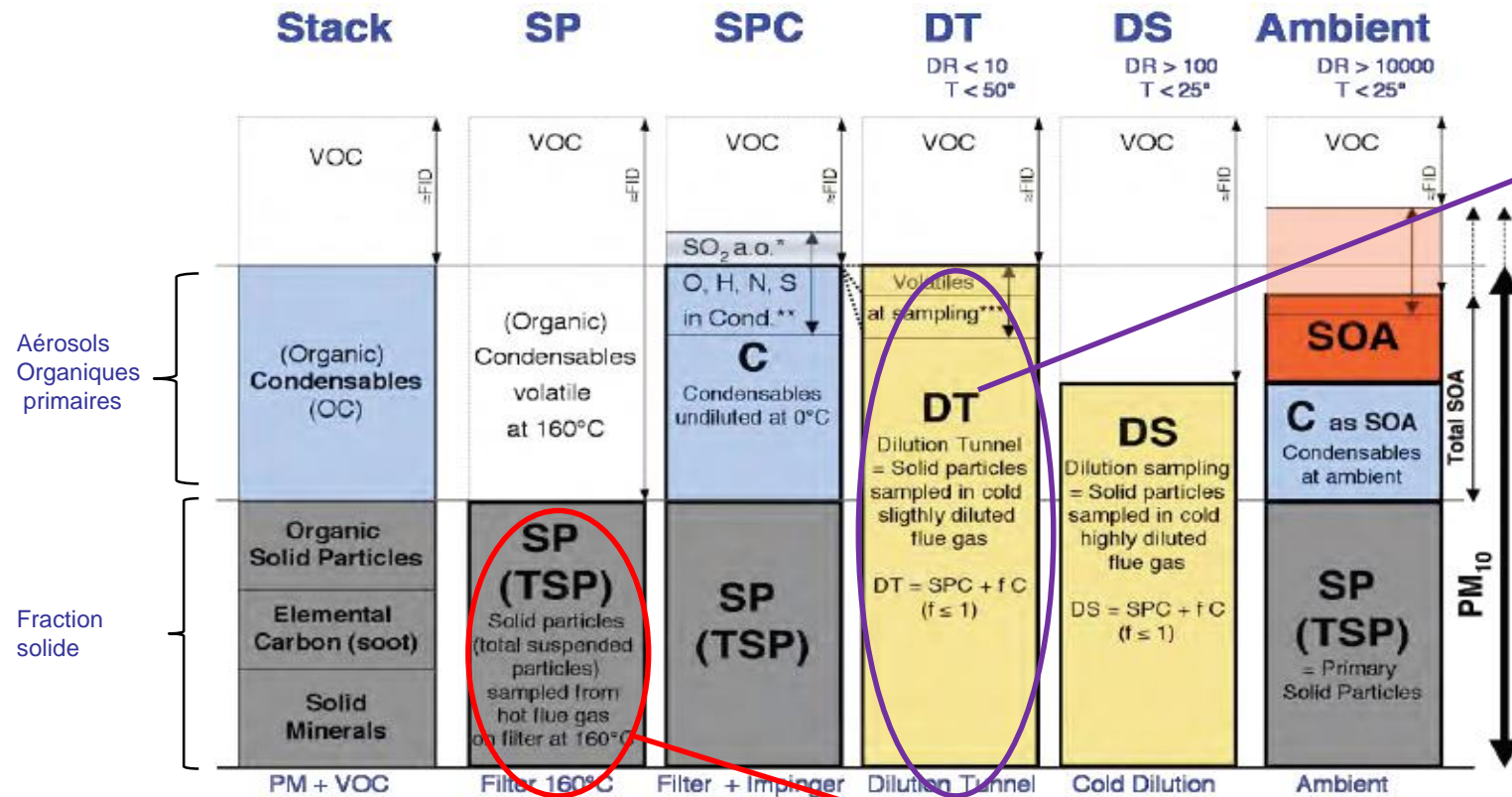
Techniques primaires ou secondaires : électrofiltres, filtres catalytiques etc.

- Prometteuses en termes d'efficacité de réduction (Peren2Bois 2012, ERFI 2017) et évoluent rapidement
- Encore des contraintes importantes d'intégration dans l'habitat, questions sur l'efficacité et les coûts à long terme, l'entretien de ces systèmes et leurs effets induits.

Protocoles actuels de tests des performances des appareils

- Les tests menés selon les normes en vigueur pour évaluer les performances énergétiques et environnementales des appareils sont effectués uniquement dans des conditions de référence bien particulières.
- L'application d'un protocole plus réaliste (prise en compte de l'intégralité de la combustion, allumage à froid et régime de braises compris) conduirait à :
 - une augmentation (AFAC 2015 et Bereal, FP7 2017) :
 - de 260% à 370% des émissions de CO,
 - de 410% des émissions de COV
 - de 300% à 500% des émissions de la fraction solide des particules par rapport à l'application du protocole normalisé
 - Surestimer les rendements de 5 points (AFAC,2015) à 16 points (Bereal,FP7 2017).

Historiquement, différentes méthodes de mesure des émissions de particules coexistent au niveau européen



Royaume-Uni et Pays Nordiques

Schéma issu de Nussbaumer, 2008

Les méthodes du filtre chauffé (SP) et du tunnel dilution (DT) sont majoritairement utilisées par les laboratoires notifiés pour la réalisation des essais de conformité des appareils dans le cadre de l'obligation du marquage CE

Allemagne, Autriche, France

Conséquences:

- Résultats potentiellement différents d'un pays à l'autre
- Difficultés de mise en place de réglementation européenne harmonisée des appareils de chauffage domestique au bois

Des besoins d'harmonisation des méthodes de mesures et des pratiques

Directive Ecoconception (performance des appareils) :

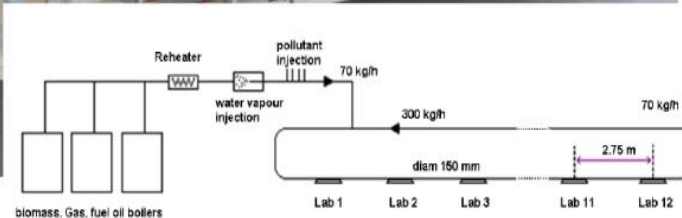
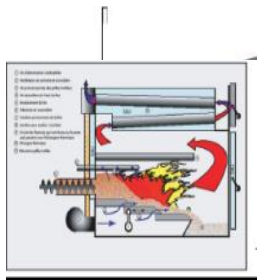
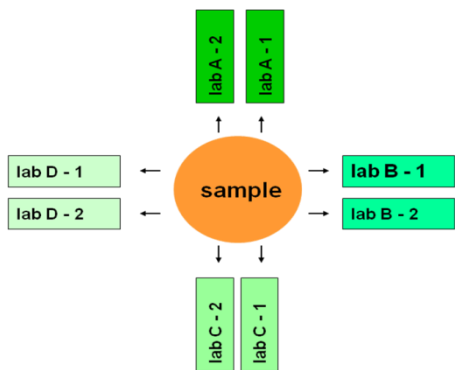
- Quatre méthodes de mesurage : la méthode du filtre chauffé (SP), deux variantes de la méthode du tunnel à dilution (DT), et une méthode basée sur l'utilisation d'un électrofiltre ; avec des valeurs limites distinctes.
- Seules les méthodes du tunnel à dilution (DT) et à barbotage (SPC) permettent de prendre en compte la fraction condensable de l'aérosol, de manière analogue.

Projet de norme Pr EN 16510 en cours de publication (Appareils de chauffage résidentiels avec combustible solide) :

- Actuellement, méthodes du prélèvement sur filtre chauffé (SP) et du tunnel à dilution (DT)
- Une méthode a été proposée suite aux travaux du projet EN-PME-TEST (2015), basée sur la méthode du filtre chauffé (SP), combinée au mesurage des composés organiques volatils totaux (COVT) avec un détecteur à ionisation de flamme (FID), qui donne un bon indicateur de la fraction condensable.
- Cette méthode combinée pourrait,
 - sous deux à trois ans se substituer aux deux méthodes présentées dans la PrEN 16510.
 - permettrait de disposer d'une méthode et de valeurs limites communes à travers l'Europe.

Evaluation des performances: inter-comparaison de méthodes

- Evaluation de la répétabilité et reproductibilité des méthodes candidates



- Deux inter-comparaisons réalisées sur sources réelles :
 - Février 2014 (INERIS), chaudière à granulés
 - Octobre 2014 (VSB République Tchèque), poêle à bûches

Amélioration et l'homogénéisation des pratiques de prélèvements

Nécessaire de garantir la génération de données d'émission fiables et comparables :

- Les organismes réalisant les tests d'aptitude des foyers devraient montrer leur capacité technique à réaliser ces essais à travers une accréditation selon le référentiel EN ISO 17025 pas uniquement sur les performances énergétiques (calcul du rendement) sur les mesures de polluants.
- L'équivalence des résultats produits par ces organismes pourrait par ailleurs être démontrée à travers la participation obligatoire à des exercices interlaboratoires organisés sur une matrice de gaz réelle par un organisme accrédité selon le référentiel EN ISO 17043.

Exemple de la Vallée de l'Arve

- Estimation que 60-70% des PM en moyenne hivernale proviennent de la combustion de la biomasse (Projet « DECOMBIO » (2013-2017 - LGGE, LCME, Air Auvergne Rhône-Alpes).
- Fond air bois. Changement des appareils anciens par des appareils performants : FV 5*, via une incitation financière (Obj. 5000 unités)

Projet ADEME CARVE 1 et 2 (2016 / 2019) - Confédération des ramoneurs savoyards / *Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A)*.

- Cerner l'efficacité de l'opération de modernisation du parc d'appareils de chauffage individuel fonctionnant au bois dans la vallée de l'Arve
- Evaluation des émissions en particules solides avant et après renouvellement de l'appareil chez 60 particuliers (120 mesures)
- Mesures en sortie foyer ou sortie du conduit (toiture) en conditions réelles de fonctionnement.



Printemps 2007 - Observation d'importants pics de PM₁₀

- Les PM un mélange complexe !!!
- Besoin de mieux comprendre l'origine des particules

Besoins de :

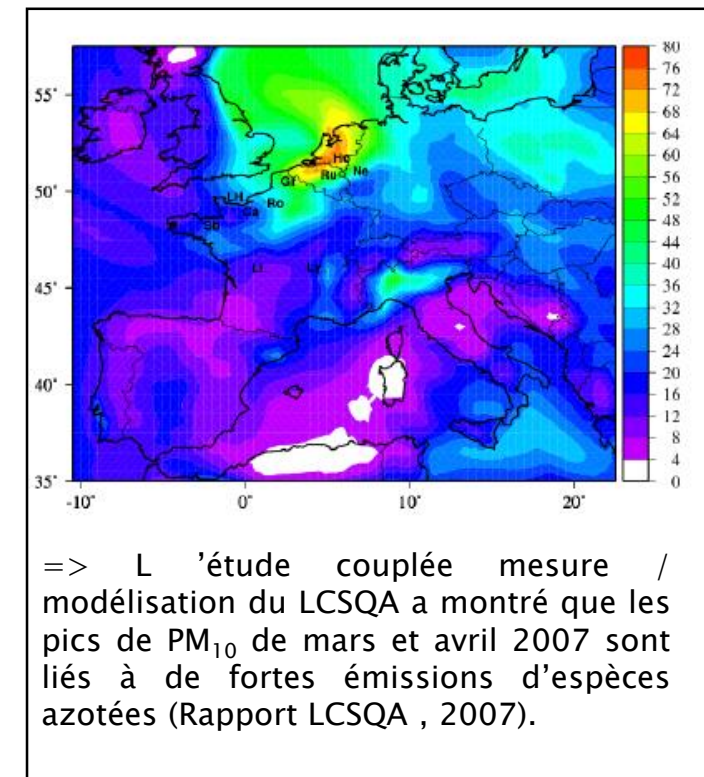
- Mieux documenter l'origine des PM₁₀ lors des pics et des situations de fond en zone urbaine
- Améliorer les outils de la modélisation (modèles et cadastres des émissions)

Méthode :

- Mesurer la composition chimique des PM₁₀ sur des sites et épisodes d'intérêts sur des filtres collectés par les AASQA
- Développer des méthodes de mesure harmonisées aux plans national et européen

Épisodes du printemps 2007

Simulation des concentrations en PM₁₀ le 29 mars 2007 (modèle Chimère) :

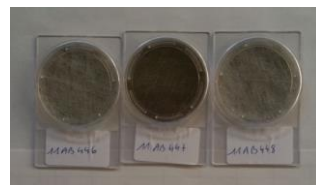


Prélèvements sur filtres par les
AASQA
volontaires



Analyses chimiques,
en interne ou collaborations
(LSCE, LGGE, LCME, ...)

Espèces chimiques majeures



Espèces chimiques majeures :

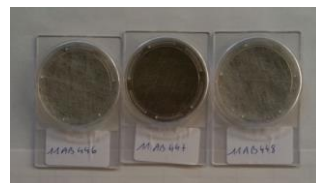
- Espèces carbonées: carbone suie et matière organique (EC/OC)
- Ions (anions/cations):
 - espèces inorganiques secondaires: nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium
 - Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} ... : sels de mer
 - Ca^{2+} : dust (poussières minérales)
- Métaux majeurs :
Par exemple: Si, Al, Ti, Fe, Ca ... → dust



Prélèvements sur filtres par les AASQA volontaires

Analyses chimiques, en interne ou collaborations (LSCE, LGGE, LCME, ...)

Espèces chimiques majeures



Espèces chimiques majeures :

- Espèces carbonées: carbone suie et matière organique (EC/OC)
 - Ions (anions/cations):
 - espèces inorganiques secondaires: nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium
 - Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} ... : sels de mer
 - Ca^{2+} : dust (poussières minérales)
 - Métaux majeurs :
- Par exemple: Si, Al, Ti, Fe, Ca ... →

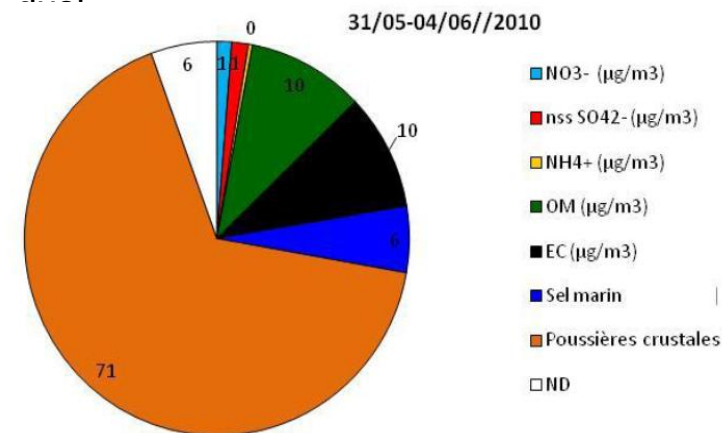


Figure 13 : Composition chimique moyenne lors de l'épisode de PM du mai-juin 2010 en Martinique. Les valeurs numériques indiquent la concentration massique par espèces en moyenne sur la période considérée

Il est ainsi possible de constater que les poussières sahariennes représentent en moyenne 65 % de la masse totale de PM_{10} sur les cinq jours d'épisodes. Ainsi, si l'on déduit la part de poussières et de sels, les jours de dépassements de la valeur limite passent de cinq à un.



Le programme CARA – L'origine (3/3)

Dispositif CARA en 2008-2009



Dispositif CARA en 2012-13



Dispositif CARA en 2015 (mesures sur filtres PM₁₀)



;

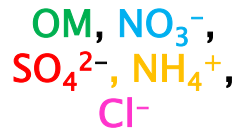


Caractérisation chimique en temps réel

Suivi en temps réel de la fraction PM₁ (ACSM + AE33)

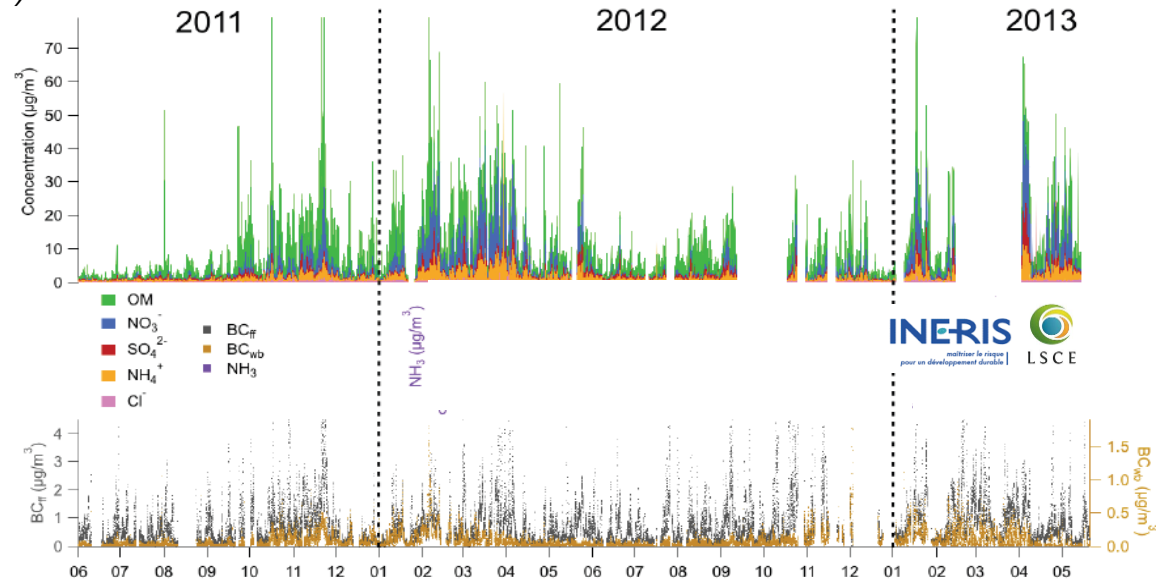
Suite aux travaux de thèse de Jean Eudes Petit (2011-2014)

Aerosol
Chemical
Speciation
Monitor
(ACSM)



Aethalomètre
multi-longueurs
d'onde (AE33)a

Carbone suie



L'AE33 permet de déconvoluer les concentrations de Black Carbon (BC) selon:

$$BC = BC_{ff} + BC_{wb} \text{ Combustion de biomasse}$$

Combustion
d'hydrocarbures

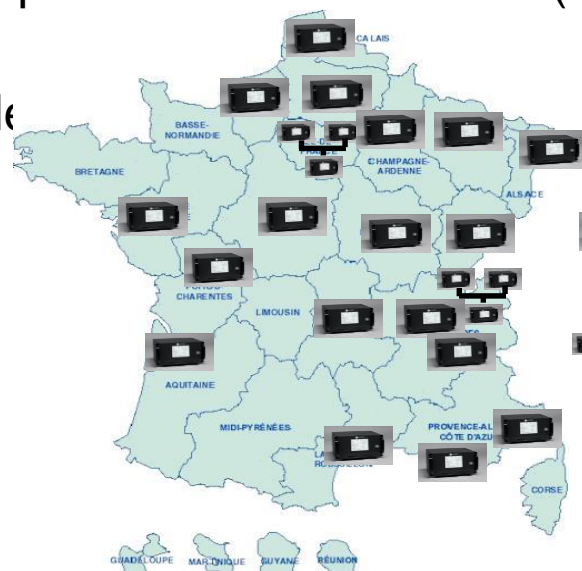


Le programme CARA – Evolution

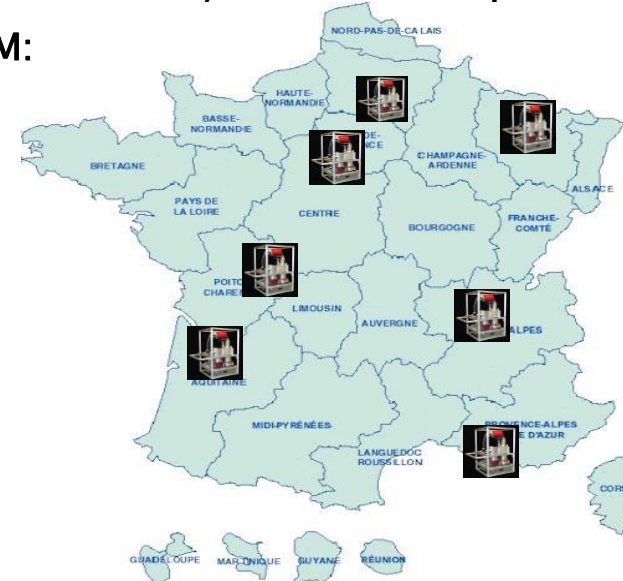
Programme CARA – nouvelles technologies des objectifs en évolution :

La mise en œuvre des mesure automatiques et la mise à disposition des longues séries des données :

- Suivi long terme du Black Carbon, traceur de l'impact sanitaire des PM
- Evaluation de plans d'actions ciblés sur les émissions (dont combustion : trafic, chauffage -AE33)
- Etude en temps réel des sources (dont combustion: AE33) lors des épisodes de pollution AE33:
- Stratégie de dé



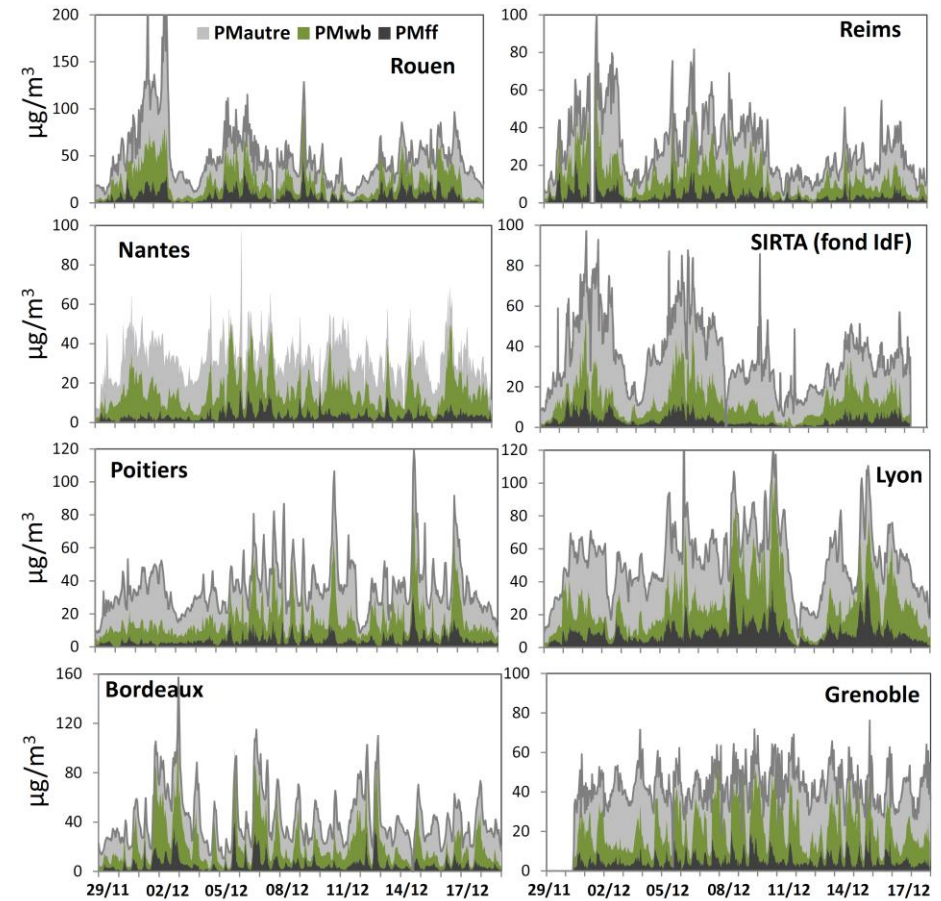
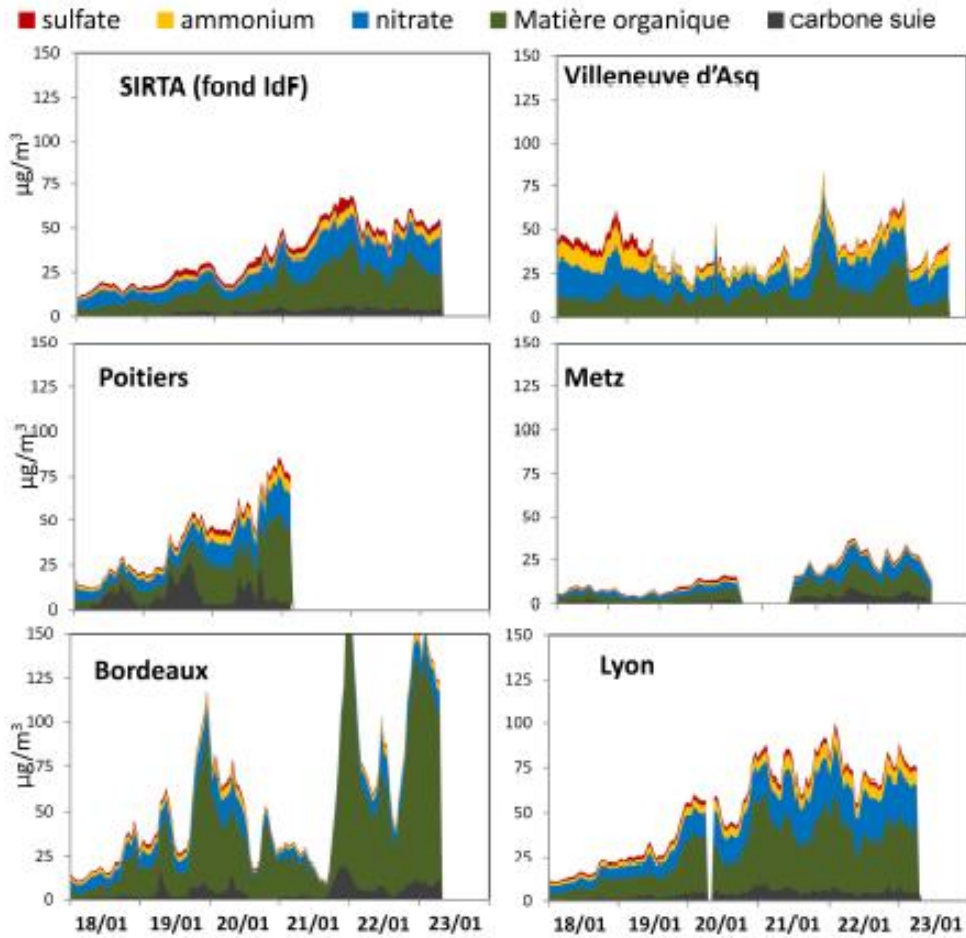
ACSM:



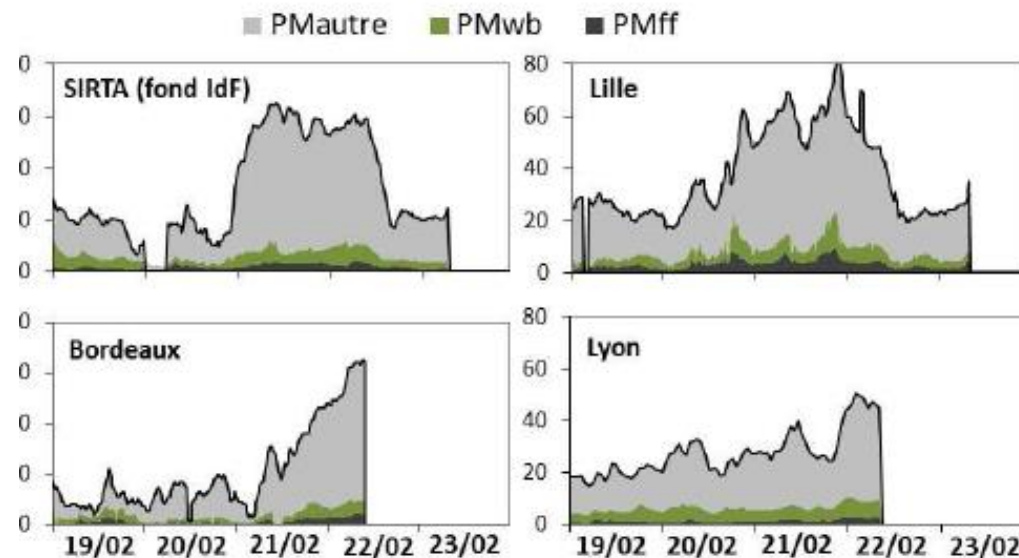
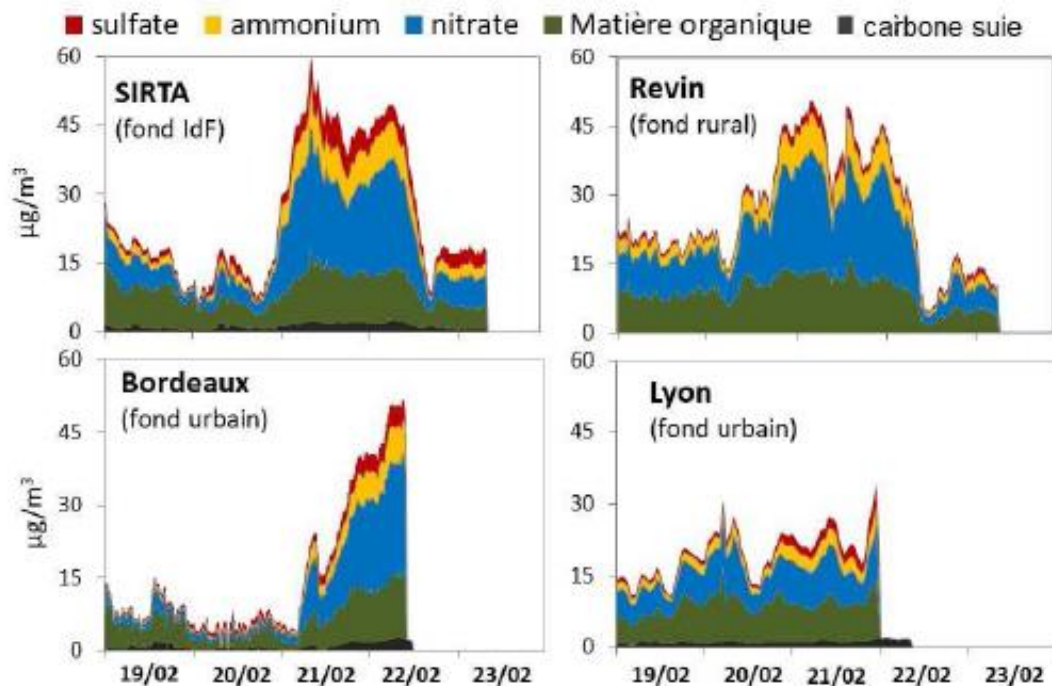
CARA
programmes
ADEME



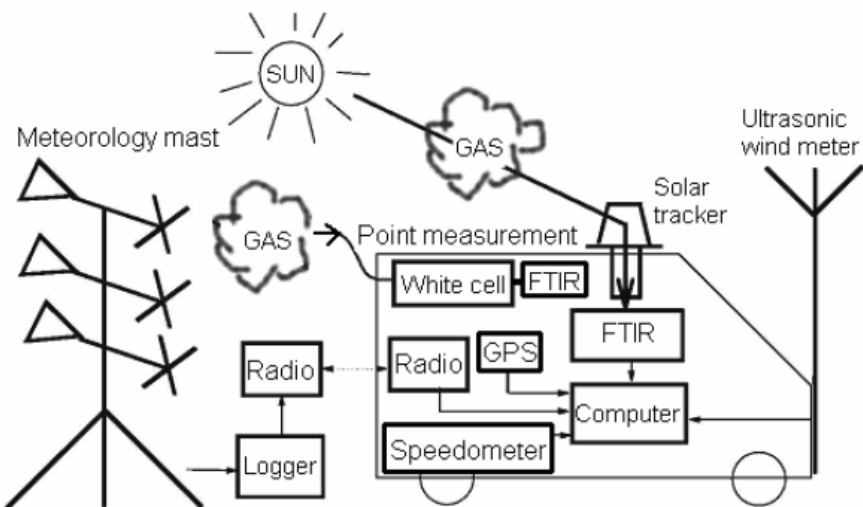
Episode de décembre 2016



Episode de février 2018

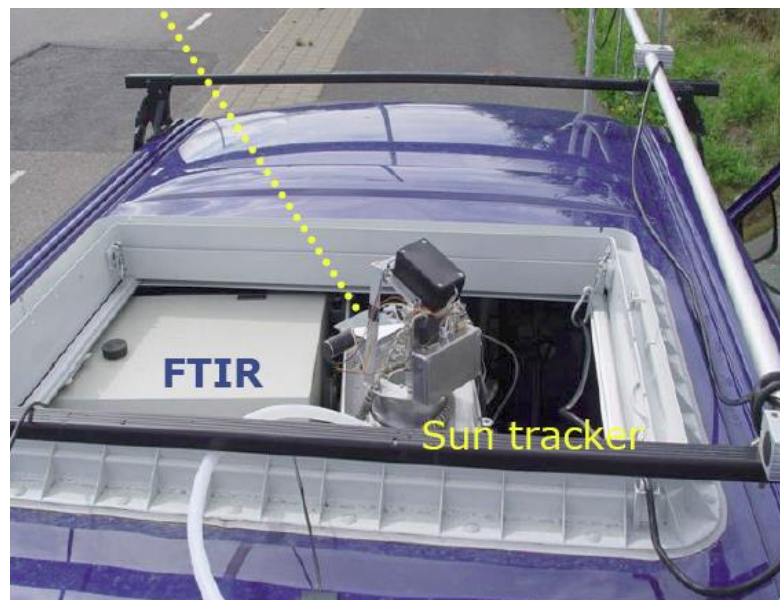
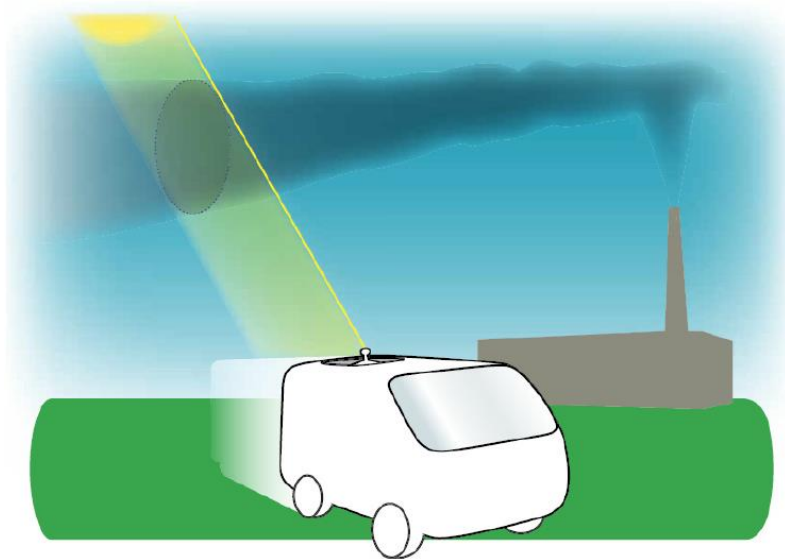


maîtriser le risque
pour un développement durable

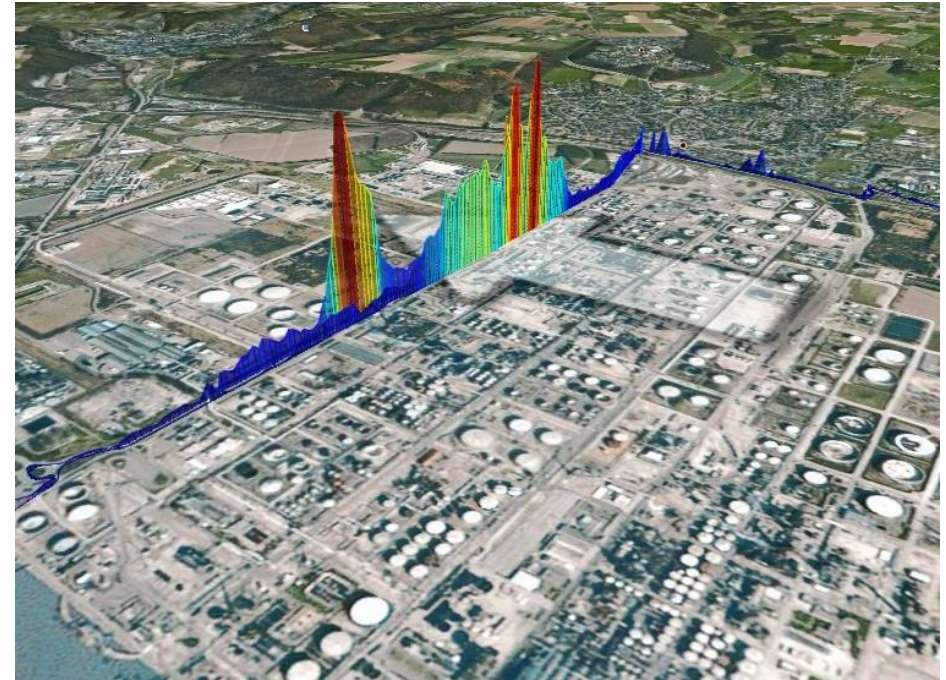
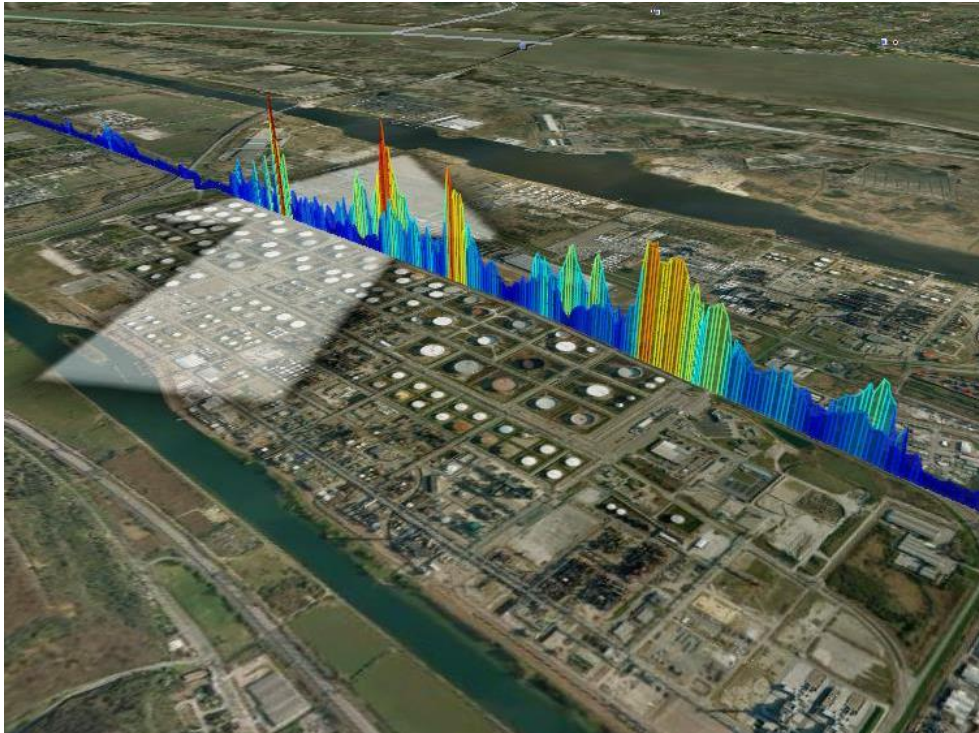


Solar Occultation Flux

- Mesure de la concentration en gaz situé entre le soleil et le détecteur (véhicule).
- Alcanes, alcènes, SO₂, NH₃
- Chalmers University

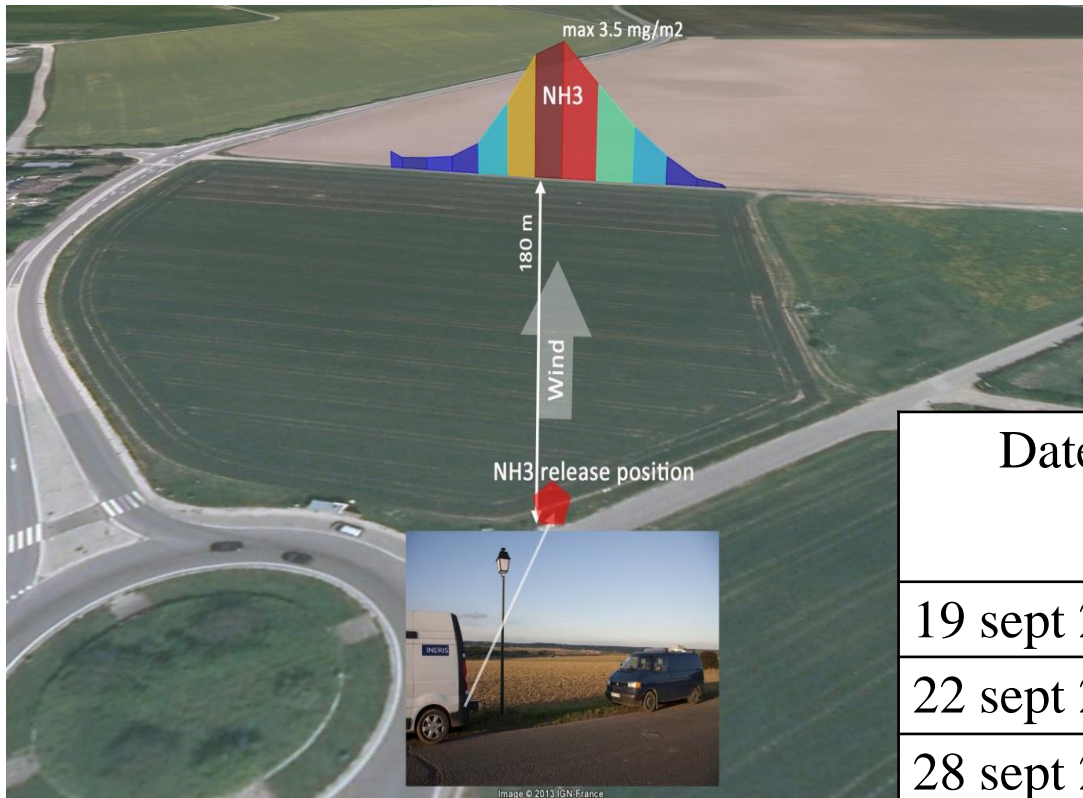


Quantification des émissions diffuses par mesure périmétrique – Cas de site pétrochimique



Application au cas des émissions diffuses d'ammoniac de bâtiment d'élevage

Tests à l'aveugle de la méthode SOF sur source maîtrisée au niveau de la ferme expérimentale AgroParisTech INRA Grignon



Date	SOF flux NH3 (kg/h)	SD (kg/h)	INERIS flux NH3 (kg/h)
19 sept 2012	0,40	0,05	0,28
22 sept 2012	1,27	0,36	1,11
28 sept 2012	0,43	0,09	0,63
01 oct 2012	0,41	0,07	0,48
01 oct 2012	0,83	0,25	1,03

Conclusion: incertitudes de 30 %

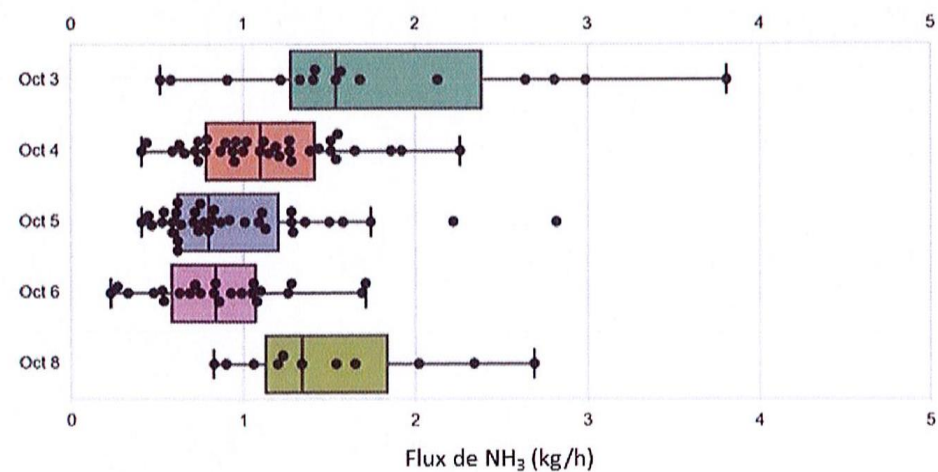
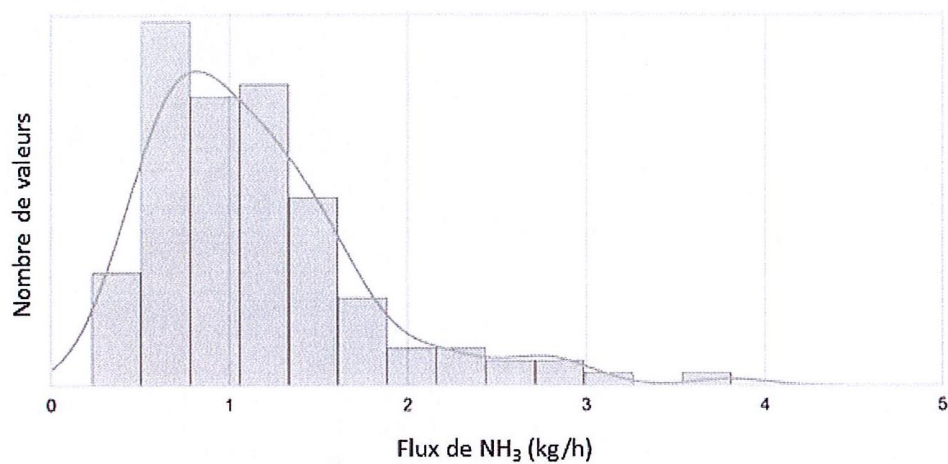
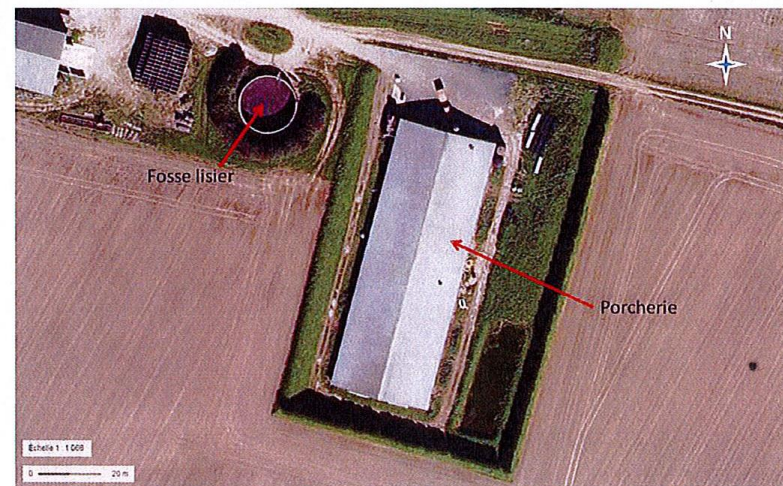
Application au cas des émissions diffuses d'ammoniac de bâtiment d'élevage

55 mesures réalisées en 2 jours



Day	Time span	Nr of traverses	Emission [kg/h]	Wind-speed	Wind-direction
110417	100952 -153507	34	0.93±0.33	0.9-7.2m/s	37-108deg
110418	103253 -140725	21	0.68±0.24	1.3-3.9m/s	56-140deg
Average	-	(total 55)	0.80±0.18	-	-

Elevage porcin de 2900 places



Comparaisons des flux mesurés aux facteurs d'émissions

Méthode	Flux de NH ₃ (kg NH ₃ / emplacement/an)	Flux de CH ₄ (kg CH ₄ / emplacement/an)	Flux de N ₂ O (kg N ₂ O / emplacement/an)
Facteur émission « MTD »	2,86		
Quantification SOF	3,3	-	-
Quantification SOF /MeFTIR	-	33,11	0,30
Logiciel GEEP IFIP BRS INRA	2,5		
GEREP CITEPA	2,09	0,85	0,04

^[1] Calculé à partir du nombre de places de post-sevrage et du nombre de places d'engraissement et des NEA-MTD respectifs correspondant aux installations existantes.

^[2] Pris individuellement, les émissions d'ammoniac liées au post-sevrage sont de 1,095 kgNH₃/place/an et de 2,428 kgNH₃/place/an pour les porcs à l'engrais.

Merci !