



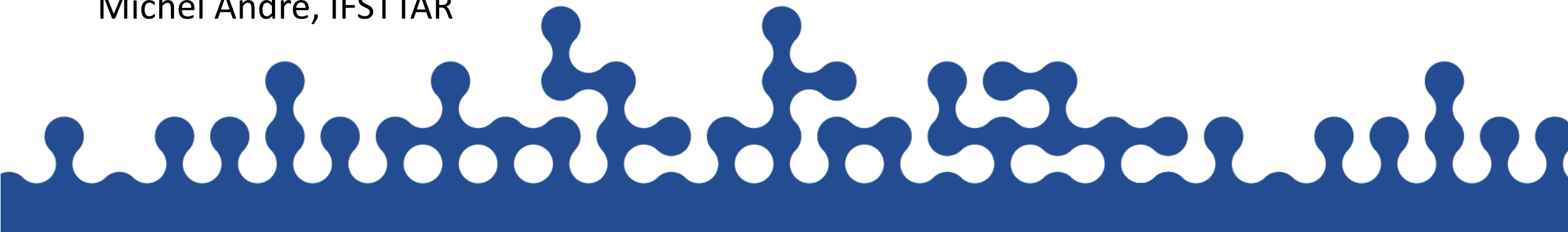
RENCONTRES SCIENTIFIQUES



Physicochimie des particules de l'air ambient : effets sur la santé et investigation de la source «Trafic routier»

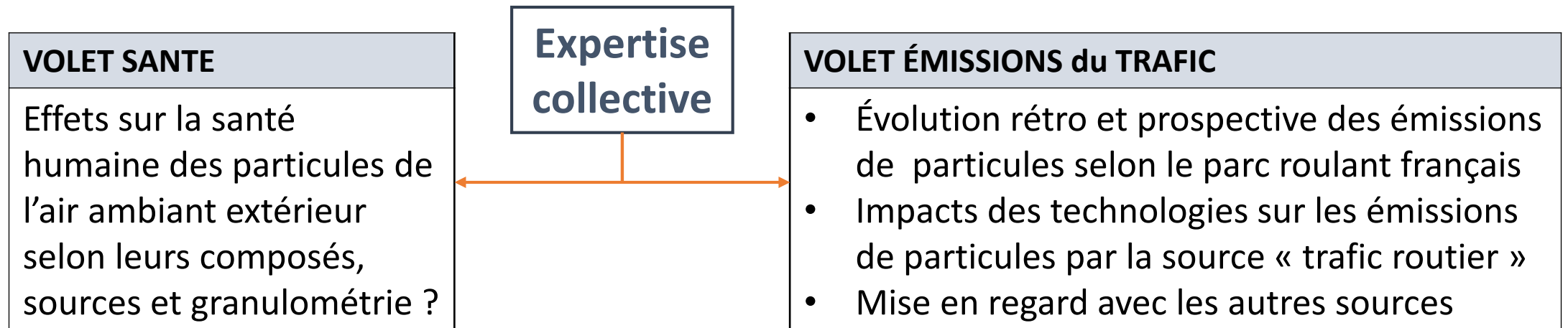
Margaux Sanchez, ANSES

Michel André, IFSTTAR

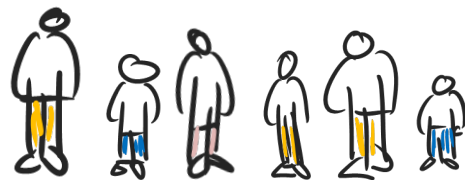


Effets sanitaires des particules de l'air extérieur

- Effets sanitaires des PM_{10} et $PM_{2,5}$ déjà bien documentés
 - Pollution air ambiant et particules, classement groupe 1 par le CIRC (2013)
 - Revue REVIHAAP de l'OMS (2013)
- Interrogations sur les effets selon la composition et les sources
- Depuis 2013, nombreuses publications sur le sujet, notamment en Europe

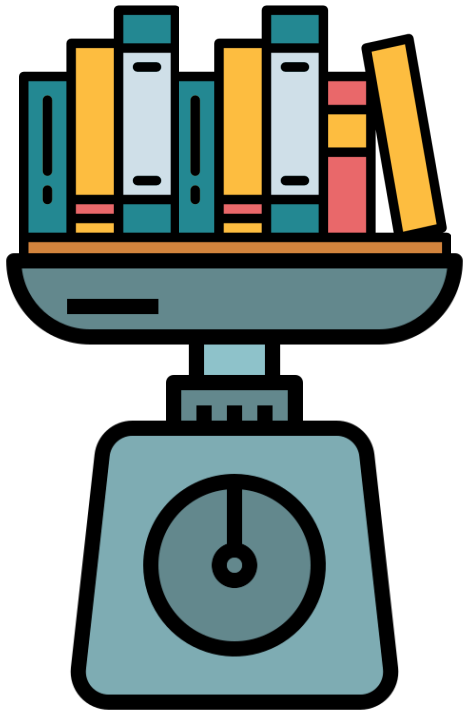


CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer • REVIHAAP : *Review of evidence on health aspects of air pollution* • OMS : Organisation Mondiale de la Santé • PM : matière particulaire.



Quels sont les effets sur la santé humaine des particules de l'air ambiant extérieur selon leurs composés, sources et granulométrie ?

Méthodes, évaluation du poids de la preuve



Littérature particules large donc REVIHAAP (2013)
comme **socle de connaissances**

→ **Littérature** incluse dans la démarche : **2013-2016**

Évaluation du poids de la preuve : revue systématique
de la littérature + évaluation de la pertinence et de la
qualité des « preuves » contenues dans la littérature
→ Adaptation du protocole standardisé proposé par
l'OHAT

→ Intérêt : tous composés, toutes sources, toutes
catégories sanitaires, toutes zones géographiques

Niveau d'indication sanitaire
de chaque composé et source
des particules → plausibilité
d'une association causale entre
un composé/source et la santé
d'après le poids des « preuves »

REVIHAAP : *Review of evidence on health aspects of air pollution* • OHAT : *Office of Health Assessment and Translation*

Méthodes, évaluation du poids de la preuve

1 Formulation du problème

2 Inclusion des études

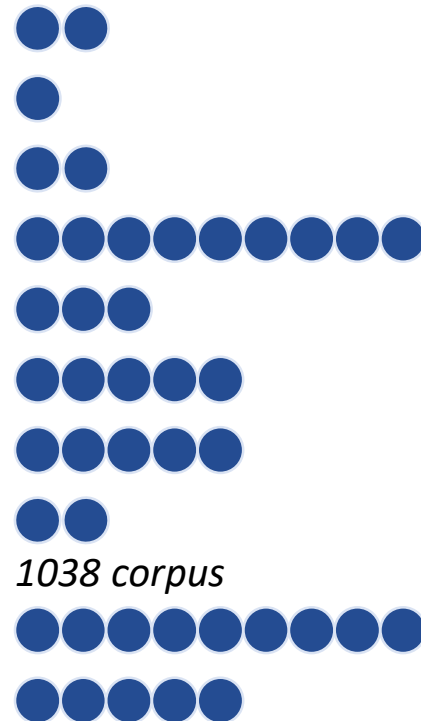
3 Données descriptives des publications

4 Qualité des publications

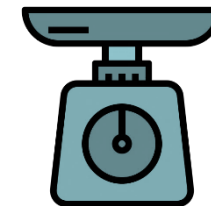
5

6

7



Regroupement en **corpus** selon composé/source, durée, évènement de santé, niveau de confiance initial
→ **Lignes de preuves** : informations de même nature avec le même objectif



Méthodes, évaluation du poids de la preuve

1 Formulation du problème

2 Inclusion des études

3 Données descriptives des publications

4 Qualité des publications

5

6

7



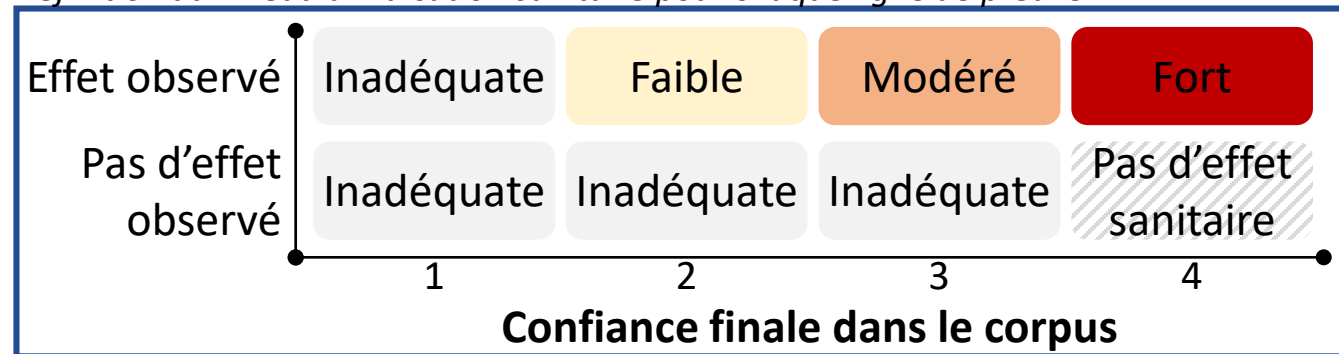
Ex: 36 publications, carbone suie, court terme → 11 lignes de preuves pour la santé cardio

		Évènements de santé	(Nombre d'études) Corpus
Carbone suie		Mortalité (toute cause cardiovasculaire)	(6) Basagana 2015, Ostro 2015, Atkinson 2016, Ueda 2016, Lin 2016, Kim 2015
Carbone suie		Hospitalisations (toute cause cardiovasculaire)	(8) Lipmann 2013 NPACT 3, Basagana 2015, Pun 2014, Samoli 2016, Sarnat 2015, Bell 2014, Kioumourtzoglou 2013, Winquist 2015
Carbone suie		Altérations de la pression artérielle	(6) Morishita 2015b, Chen 2016, Morishita 2015a, Chung 2015, Mirowsky 2015, Wu 2013
Carbone suie		Infarctus, évènements coronariens	(2) Kim 2015, Sarnat 2015
Carbone suie		Insuffisance et congestion cardiaque	(2) Sarnat 2015, Winquist 2015
Carbone suie		Altérations du rythme cardiaque	(6) Morishita 2015b, Chen 2016, Bartell 2013, Morishita 2015a, Sun 2015, Mirowsky 2015, Sarnat 2015
Carbone suie		Accidents vasculaires cérébraux	(1) Lin 2015
Carbone suie		Fonction vasculaire	(1) Morishita 2015a
Carbone suie		Marqueurs inflammation systémique	(1) Steenhof 2014, Strak 2013
Carbone suie		Marqueurs coagulation	(1) Strak 2013
Carbone suie		Marqueurs de stress oxydant systémique	(2) Wu 2016, Wu 2015

Méthodes, évaluation du poids de la preuve

- 1 Formulation du problème
- 2 Inclusion des études
- 3 Données descriptives des publications
- 4 Qualité des publications
- 5 Confiance des corpus et effet observé
- 6 Traduction en niveau d'indication sanitaire
- 7

Définition du niveau d'indication sanitaire pour chaque ligne de preuve :



Pour chaque ligne de preuve (exposition X, durée D, évènement E):

Corpus	Niveau de confiance initial	↘ confiance	↗ confiance	Confiance finale du corpus	Effet sur la santé ?
A, B, C, D, E, F, G	4	Risque de biais	Amplitude	4	Effet observé vs. pas d'effet observé (selon données du corpus)
	3	Incohérence inexplicquée	Dose-réponse	3	
	2	Invalidité externe	Confusion résiduelle	2	
	1	Imprécision	Cohérence	1	
		Biais de publication	Autres		












Méthodes, évaluation du poids de la preuve

- 1 Formulation du problème
- 2 Inclusion des études
- 3 Données descriptives des publications
- 4 Qualité des publications
- 5 Confiance des corpus et effet observé
- 6 Traduction en niveau d'indication sanitaire
- 7 **CONCLUSIONS : niveau d'indication sanitaire et comparaison à REVIHAAP**

- Indications sanitaires pour chaque composés/sources et catégorie d'effet (santé cardiovasculaire, santé respiratoire, santé périnatale, etc.)
- Indication sanitaire chez l'Homme la plus élevée retenue pour comparaison avec REVIHAAP

Résultats

Ex: 36 publications, carbone suie, court terme → 11 lignes de preuves pour la santé cardio

		Évènements de santé	(Nombre d'études) Corpus	Indications d'effet
Carbone suie		Mortalité (toute cause cardiovasculaire)	(6) Basagana 2015, Ostro 2015, Atkinson 2016, Ueda 2016, Lin 2016, Kim 2015	forte
Carbone suie		Hospitalisations (toute cause cardiovasculaire)	(8) Lipmann 2013 NPACT 3, Basagana 2015, Pun 2014, Samoli 2016, Sarnat 2015, Bell 2014, Kioumourtzoglou 2013, Winquist 2015	forte
Carbone suie		Altérations de la pression artérielle	(6) Morishita 2015b, Chen 2016, Morishita 2015a, Chung 2015, Mirowsky 2015, Wu 2013	inadéquate
Carbone suie		Infarctus, évènements coronariens	(2) Kim 2015, Sarnat 2015	forte
Carbone suie		Insuffisance et congestion cardiaque	(2) Sarnat 2015, Winquist 2015	modérée
Carbone suie		Altérations du rythme cardiaque	(6) Morishita 2015b, Chen 2016, Bartell 2013, Morishita 2015a, Sun 2015, Mirowsky 2015, Sarnat 2015	faible
Carbone suie		Accidents vasculaires cérébraux	(1) Lin 2015	faible
Carbone suie		Fonction vasculaire	(1) Morishita 2015a	inadéquate
Carbone suie		Marqueurs inflammation systémique	(1) Steenhof 2014, Strak 2013	inadéquate
Carbone suie		Marqueurs coagulation	(1) Strak 2013	inadéquate
Carbone suie		Marqueurs de stress oxydant systémique	(2) Wu 2016, Wu 2015	inadéquate




























11 indications d'effet de l'exposition à court terme au carbone suie sur **11 évènements de santé cardiovasculaire**

CONCLUSION :
indication « **forte** » d'effet de l'exposition à court terme au carbone suie sur la santé cardiovasculaire












Limites et incertitudes, interprétation

- Niveaux d'indication sanitaire
 - ✓ Identification du danger, traduisent si l'hypothèse d'un lien de causalité est plus ou moins plausible sur la base des publications évaluées
 - ✗ Force de l'association, amplitude de l'effet, toxicité relative, probabilité de survenue
- Prudence dans l'interprétation de certains niveaux d'indication
 - Corrélation entre composés
 - Variabilité métrologique et définition des sources
- Recherche et inclusion des publications → certains champs de littérature non exploités
 - Requêtes larges et peu spécifiques
 - Population générale et sous-populations uniquement
 - Essais *in vitro* ou *in silico* non inclus
 - HAP, endotoxines, échappements Diesel, échappements essence, source industrielle, combustion de biomasse

Conclusions (i)

		Rapporté dans REVIHAAP :		Depuis REVIHAAP jusqu'en février 2016 :	
Composés des particules de l'air ambiant		Niveau de preuve	Associations	Niveau d'indication sanitaire le plus élevé (N études humaines du corpus)	
Matières carbonées	Carbone suie, carbone élémentaire	Preuves suffisantes	Oui	  	Fort (78) (+Exp.)
	Carbone organique	Informations croissantes	Oui	  	Fort (37) (+Exp.)
	AOS (mélange)	∅	Oui		Inadéquat (7) (+Exp.)
	HAP	∅	∅		Faible (4)
Particules ultrafines (<100 nm)		Preuves encore limitées	Oui		Modéré (14) (+Exp.)
Particules grossières (PM_{2,5-10})		Preuves suggestives	Oui	 	Modéré (44)
Aérosols inorganiques secondaires (AIS)	AIS (mélange)	∅	Oui		Faible (6)
	Sulfate	∅	Oui		Fort (48)
	Nitrate	∅	Oui	 	Fort (25) (+Exp.)
	Ammonium	∅	∅	  	Faible (14)
Métaux de transition	Nickel	∅	Oui §		Fort (34) (+Exp.)
	Zinc	∅	Oui §		Modéré (31)
	Cuivre	∅	Oui §		Faible (31)
	Vanadium	∅	Oui §		Fort (32)
	Fer	∅	∅		Fort (31)
Silice		∅	∅	 	Modéré (30)
Endotoxines		∅	∅		Modéré (5)
Potentiel oxydant		∅	∅	 	Faible (6)

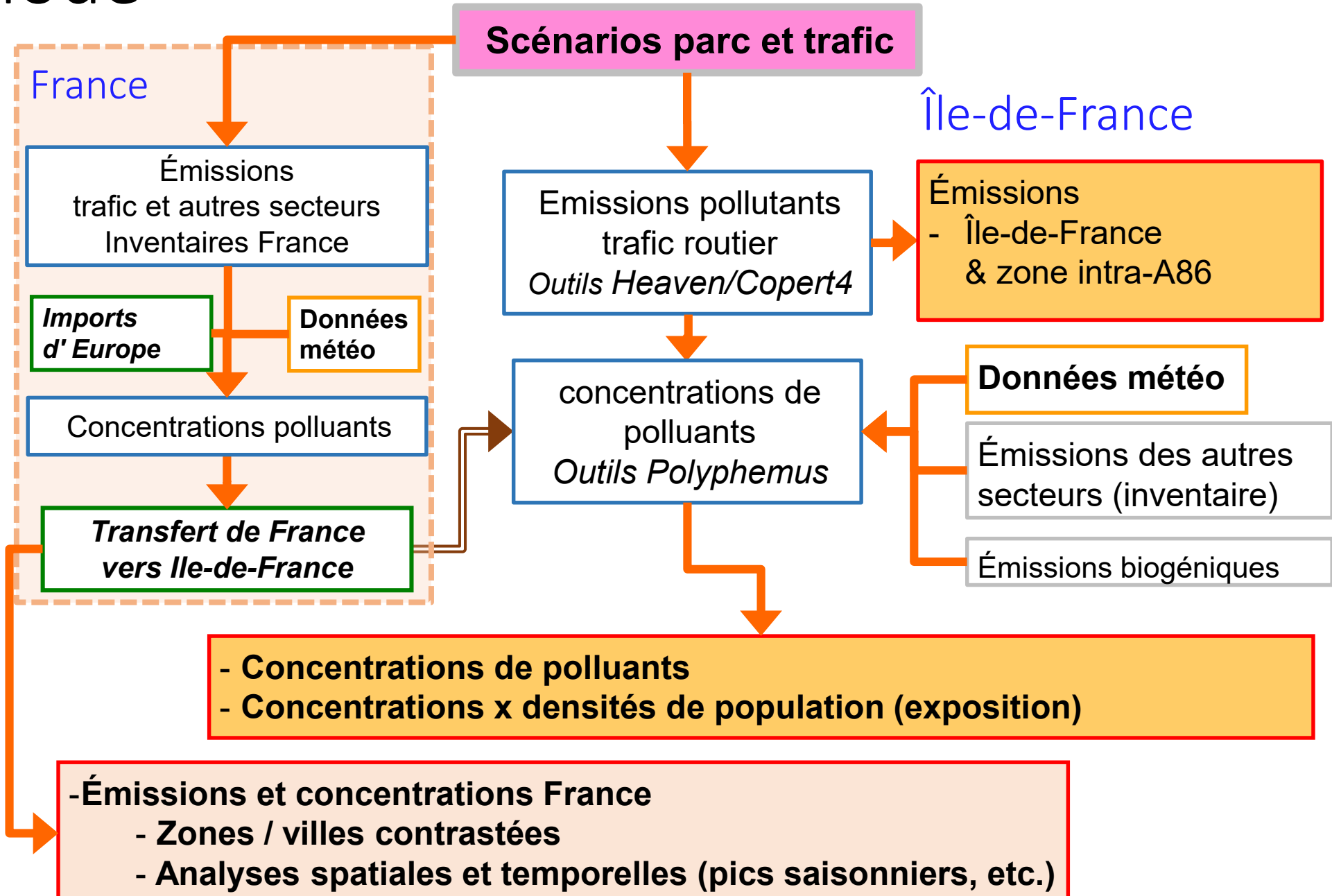
Conclusions (ii)

Sources des particules de l'air ambiant		Rapporté dans REVIHAAP :		Depuis REVIHAAP jusqu'en février 2016 :	
		Niveau de preuve	Associations	Niveau d'indication sanitaire le plus élevé (N études humaines du corpus)	
Trafic routier	PM _{2,5} liées au trafic	Association probable	Oui	 Modéré (16) (+Exp.)	
	Carbone suie lié au trafic	Preuves suffisantes \bar{T}	∅	 Fort (4)	
	Échappements Diesel	∅	Oui	 Modéré (3) (+Exp.)	
	Échappements essence	∅	Oui	 Modéré (1)	
	Poussières de route, matière crustale	Association probable	Oui	 Fort (16)	
	Poussières de freins	∅	∅	 Faible (1) #	
Combustion	Charbon	Preuves solides \bar{T}	Oui	 Fort (7) (+Exp.)	
	Produits pétroliers	Influence sur la santé	Oui et non	 Modéré (10)	
	Biomasse	Association probable	Oui §	Inadéquat (4) #	
Industries	Industrie	∅	Oui	 Faible (5)	
	Métallurgie	∅	Oui	Inadéquat (10) #	
Poussières de désert		∅	Oui	 Modéré (3)	
Sels, embruns marins		Suggestion d'absence d'effet	Oui et non	 Faible (9)	
Site de déchets dangereux		∅	Non	Inadéquat (1)	
Agriculture		∅	∅	∅	

- Evolution rétro- et prospective des émissions et concentrations de particules selon le parc automobile français ?
- Impacts différenciés des technologies sur émissions et concentrations, par le « trafic routier »?



Méthode

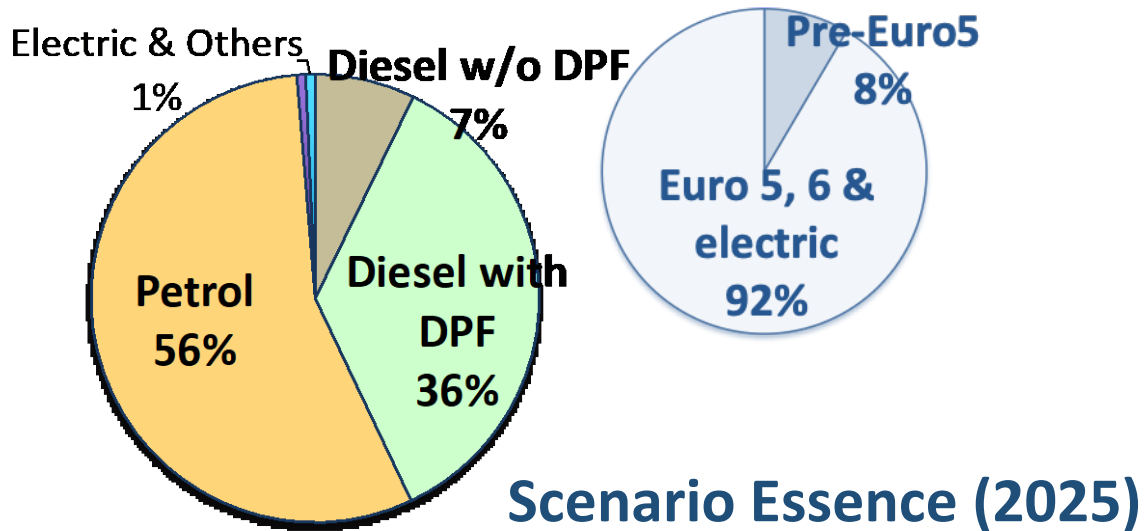
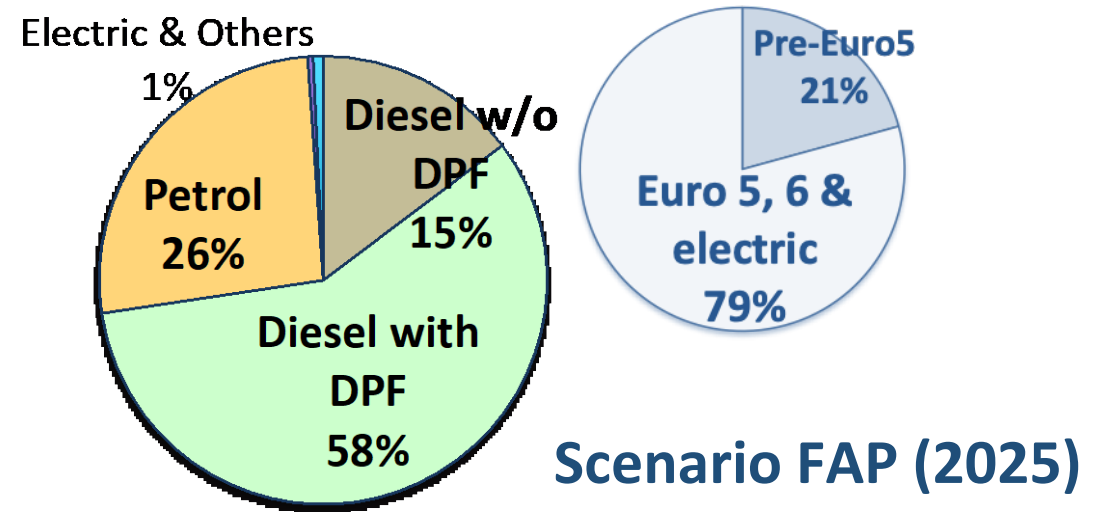
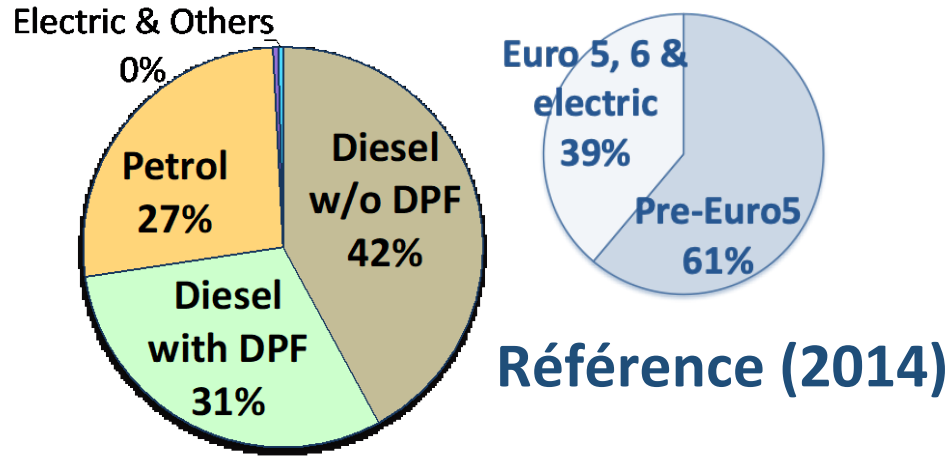


Principaux scénarios

Référence 2014	<ul style="list-style-type: none">• Composition du parc et trafic actuels
FAP	<ul style="list-style-type: none">• Généralisation du FAP sur les véhicules Diesel• Évolution vers normes d'émission Euro-5 et -6• Evolution quasi "au fil de l'eau" à l'horizon 2025
Essence	<ul style="list-style-type: none">• Déclin marqué des véhicules légers Diesel au profit des essence (inversion répartition Diesel / essence)

Technologies alternatives	<ul style="list-style-type: none">• Promotion des véhicules électriques en milieu urbain<ul style="list-style-type: none">• 40% des ventes VP et 60% des VUL en 2025• Camions et bus \leq Euro-III et deux-roues < 250cc convertis en électriques• Rural et autoroutes : parc du scenario FAP
Ambition air	<ul style="list-style-type: none">• En zone intra-A86 :<ul style="list-style-type: none">• Parc du scenario "technologies alternatives"• Réduction de 17% du trafic (à mobilité constante, + de bus et 2-Roues)• Hors zone intra-A86 : parc du scenario FAP

Évolution de la composition du parc (véh. légers en Île-de-France)



Induit un renouvellement accéléré du parc

Scenario "Ambition Air"

- Réduction trafic (**17% en intra-A86**)
- Véhicules électriques
 - 4% véh. légers élec. en Île-de-France
 - **16% en Intra-A86**
- *Euro 5,6 et elec: 80% IdF - 86% inA86*

Véhicules récents en zone peuplée

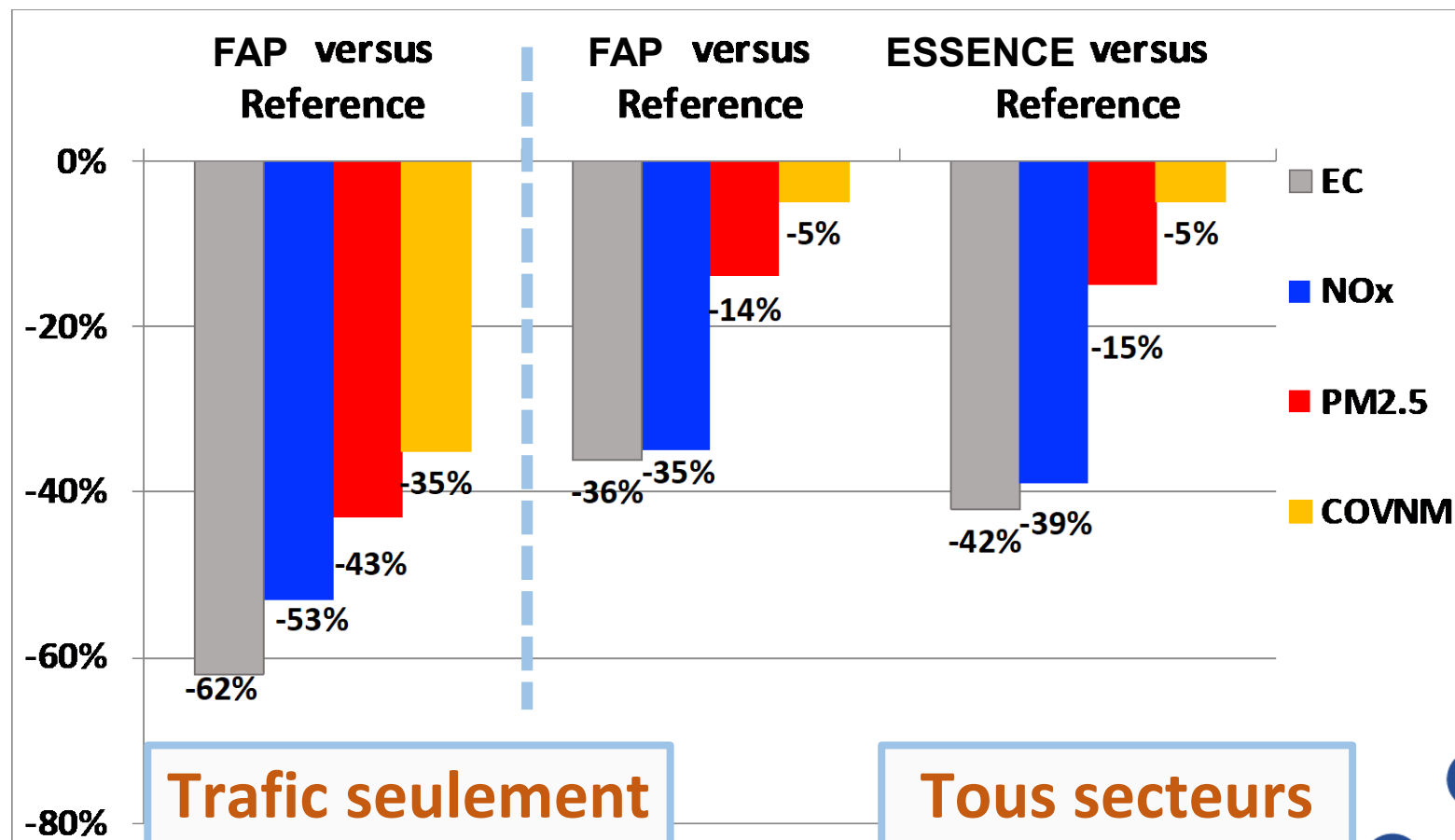
À horizon 2025, forte diminution des émissions du trafic

- -30% à -60% selon les polluants, France et Ile-de-France
- Les émissions « tous secteurs » baissent moins (de -5 à -40%)

- Scénario ESSENCE:

- réduction supplémentaire des particules
 - en partie par renouvellement du parc
- Réduction moindre de COV et NH3

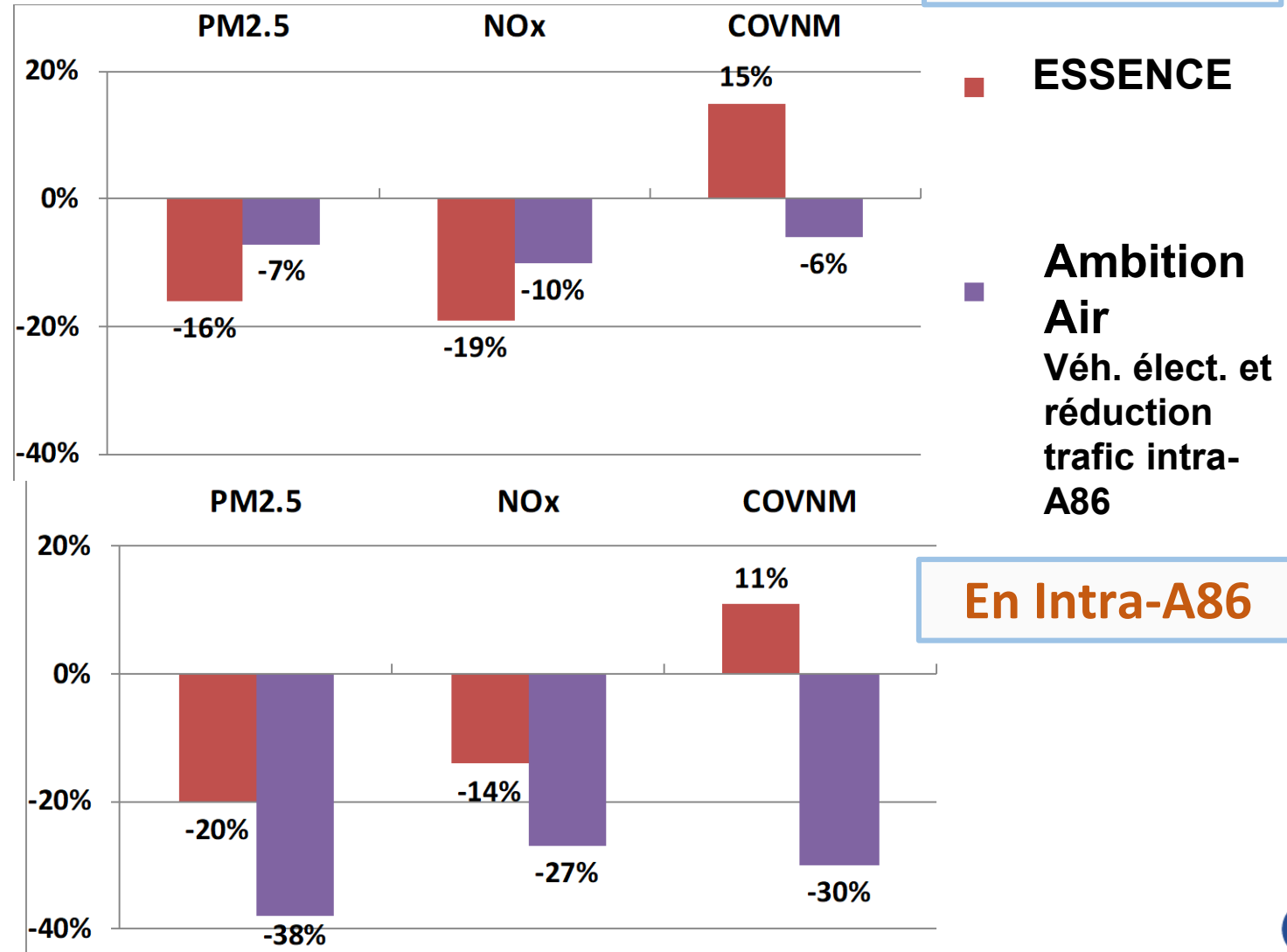
Réduction des émissions par rapport à la référence – scénarios FAP et ESSENCE



Émissions selon les scénarios (comparaison au scénario FAP)

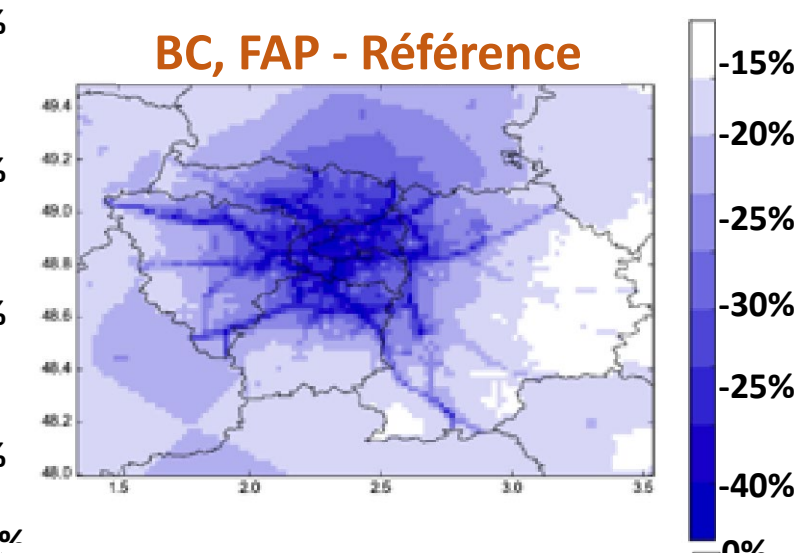
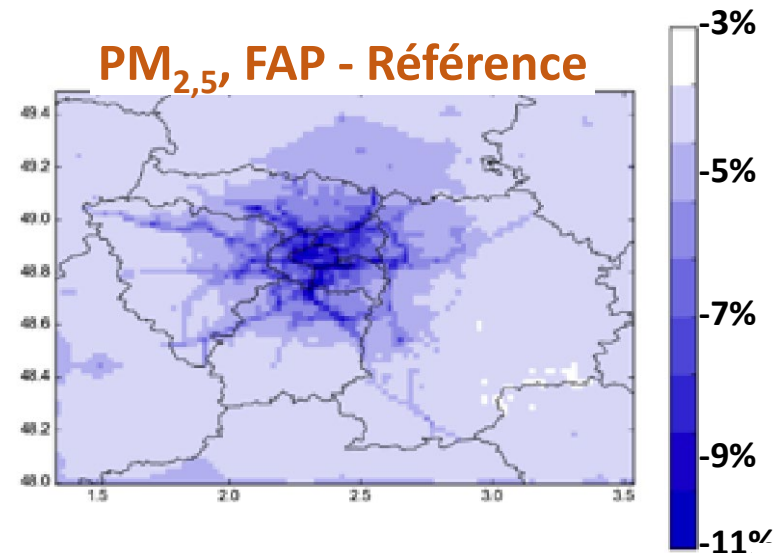
- Scénario ESSENCE:
 - réduction supplémentaire des émissions de particules et NOx
- La promotion des véhicules électriques et la réduction du trafic induisent des réductions d'émission marquées en zones denses / peuplées (intra-A86)

Île-de-France



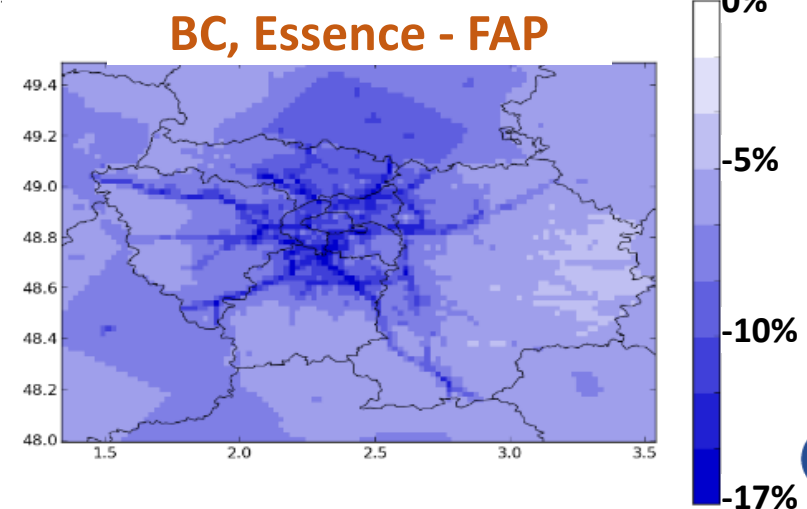
À horizon 2025, diminution des concentrations moyennes annuelles

- importante pour des polluants « du trafic » (-30 % carbone suie, NO₂)
- limitée pour PM_{2,5}, PM₁₀ (-4 à -6%) et fractions organique et inorganique formées dans l'atmosphère
- Pour O₃, les concentrations peuvent augmenter (urbain, hiver)
- **Faibles écarts entre scénarios (±6 % BC, 0 à 2% autres)**
- **Léger avantage Essence**



En Île-de-France

- Diminution des concentrations partout, mais surtout à Paris et le long des axes routiers.
- Forte baisse de BC, polluant primaire/inerte
- Scénario Essence accentue les baisses



Autres résultats

- Diminution importante des **occurrences de fortes concentrations**
- VG-OMS long terme des PM2.5 reste dépassée sur la quasi-totalité du territoire.
- Scénario ESSENCE (versus FAP)
 - L'augmentation des COV et NH3 n'induit pas d'augmentation des concentrations de PM
 - Explication : précurseurs NO2 et COSV ↘ moindre formation d'aérosols secondaires
 - Augmentations ou diminutions de O3 accentuées par le scénario ESSENCE
- La diminution des émissions de COV diminuerait PM2.5 dans Paris
 - Explication : COV ↘ oxydants ↘ moindre formation d'organiques secondaires
 - Enjeu : réduction des émissions de COV des autres secteurs
- Autres analyses et apports des travaux
 - Exposition (Île-de-France), Rétrospective émissions et concentrations (Île-de-France et France)
 - Mise en perspective avec d'autres travaux (ZAPA, PDU-Île-de-France, PREPA)
 - Analyse critique de l'approche (avantages, limites, incertitudes) et Socle méthodologique, données / outils

En résumé – principales conclusions et recommandations

- Effets sanitaires des particules
 - Cibler : particules ultrafines (< 100 nm, Nombre), carbone suie et carbone organique ... en complément de PM_{2,5} et PM₁₀
 - Agir sur les principales sources d'émission :
 - trafic routier, combustion de charbon, de produits pétroliers et de biomasse
 - Besoin de données sur
 - agriculture, transport maritime, pollution aéroportuaire
 - sources naturelles (pollens, COV biogéniques - précurseurs d'AOS, etc.)
- Qualité de l'air et scénarios d'évolution du parc automobile
 - Evolution insuffisante de la qualité de l'air ambiant dans les agglomérations
 - Considérer conjointement évolution technologique ET réduction du trafic, transfert modal et modes actifs dans les zones peuplées
 - Méthodologies d'évaluation
 - pollution proximité, autres polluants, scénarios prospectifs multisectoriels,...

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

RENCONTRES SCIENTIFIQUES



Merci
de votre
attention

Travaux réalisés
avec le soutien de l'ANSES

Lien vers les rapports complets :

<https://www.anses.fr/fr/content/pollution-de-l-air-nouvelles-connaissances-sur-les-particules-de-l-air-ambiant-et-l-impact>

