



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

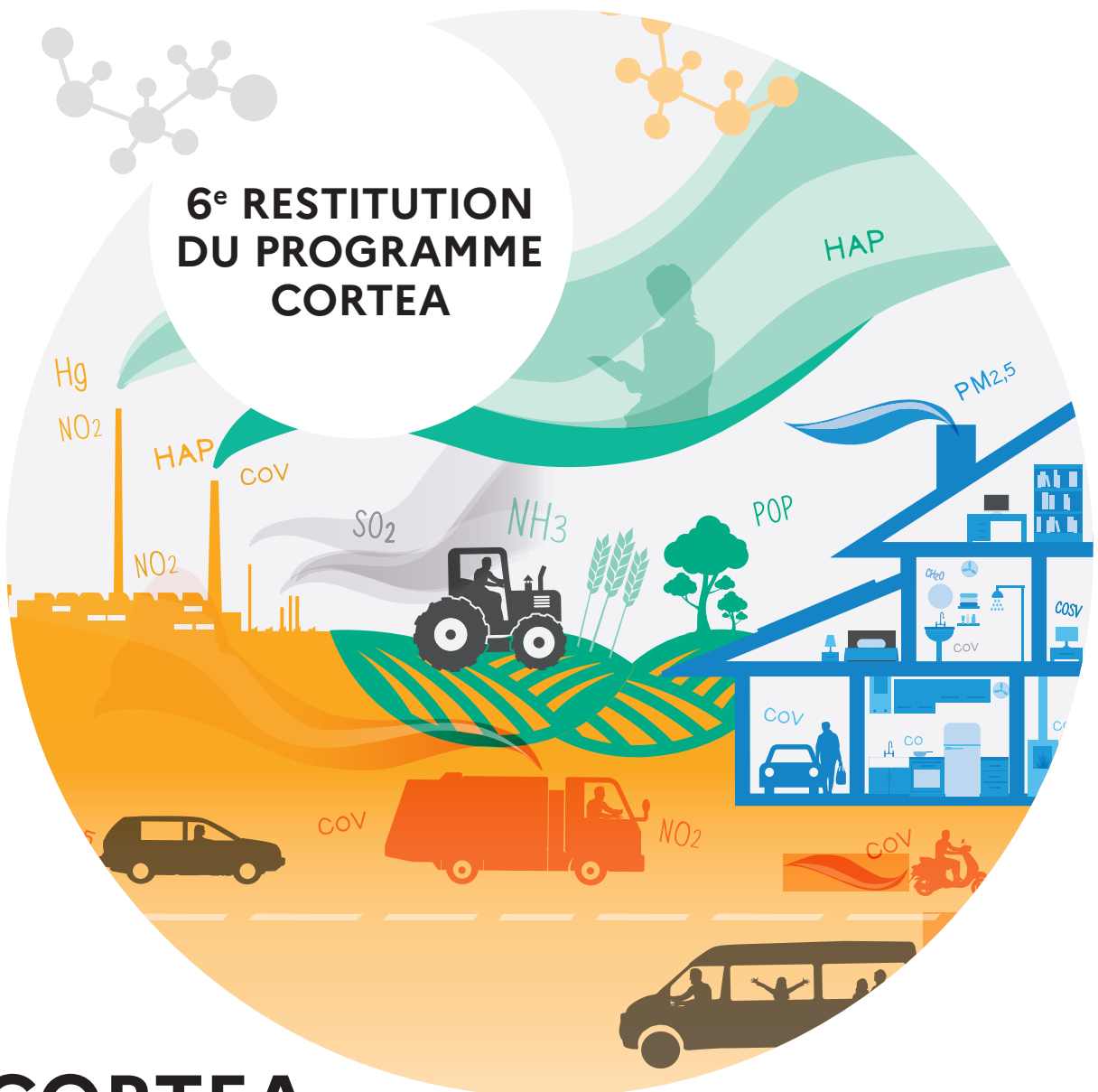
Liberté  
Égalité  
Fraternité



CONNAISSANCE ET RÉDUCTION  
DES ÉMISSIONS DE POLLUANTS DE L'AIR



## 6<sup>e</sup> RESTITUTION DU PROGRAMME CORTEA



ILS L'ONT FAIT

# CORTEA

## Synthèse des derniers résultats

Édition 2022



# Quand acteurs et chercheurs se mobilisent pour améliorer la qualité de l'air

Si ces vingt dernières années de gros efforts ont été déployés pour réduire les rejets de polluants tels que le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et le plomb, la France doit encore poursuivre son action pour certains polluants, comme les particules fines et leurs précurseurs, les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) ou encore les Composés organiques volatils (COV). En ligne de mire : les objectifs fixés par le protocole de Göteborg et la directive NEC révisée, ainsi que les valeurs limites européennes en matière de qualité de l'air, et, à terme, le respect des recommandations de l'OMS.

Piloté par l'ADEME, le programme CORTEA (ou « Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Émissions de l'Air ») soutient des projets de recherche et de développement (R&D) orientés vers la réduction des émissions des secteurs de l'agriculture, du bâtiment, de l'industrie, de l'énergie et des transports. Les projets financés permettent d'améliorer les connaissances sur les émissions, de développer des protocoles d'estimation et des méthodes de mesure innovantes, d'affiner le calcul de facteurs d'émissions, ainsi que de développer des techniques et des produits permettant d'abattre des polluants ou de limiter leur production à la source.

Entre 2011 et 2019, CORTEA aura ainsi soutenu près de 140 projets, pour une enveloppe globale de 26 millions d'euros d'aide. Ce sont autant d'opportunités de rapprochement entre acteurs académiques et acteurs publics, économiques et professionnels, chaque projet contribuant à fournir aux seconds des technologies, des méthodes et des conseils qui leur permettent concrètement d'améliorer la qualité de l'air.

Le détail des projets de recherche présentés ici est disponible sur le site [www.ademe.fr/expertises/air-bruit/passer-a-laction](http://www.ademe.fr/expertises/air-bruit/passer-a-laction)

## AIR INTÉRIEUR

Améliorer la qualité de l'air intérieur (QAI) est un enjeu majeur de santé publique. CORTEA a permis de soutenir quatre nouveaux projets visant à mieux connaître les facteurs influençant l'air respiré à l'intérieur des locaux (usage d'huiles essentielles et de désodorisants non combustibles), et à évaluer le potentiel de réduction des émissions polluantes (usage de revêtements adsorbant les COV ou de matériaux biosourcés/dépolluants).

### Impacts des huiles essentielles et des désodorisants non combustibles sur l'air intérieur

Le projet **ESSENTIEL** piloté par l'IMT Nord Europe-SAGE visait à caractériser l'impact des huiles essentielles présentes dans certains produits ménagers (nettoyants, désodorisants et huiles essentielles pures) sur la qualité de l'air intérieur. Des essais en chambres expérimentales ont permis de caractériser les émissions de composés organiques volatils (COV) terpéniques de divers produits ménagers : profils d'émission en conditions réalistes, impact sur la QAI en fonction de la masse de produit utilisé et du mode d'application... La présence de libérateurs de formaldéhyde au sein de certaines formulations a été mise en évidence, ainsi qu'une cinétique particulière d'émission après usage de certains produits ménagers. Les émissions liées

à la diffusion des huiles essentielles ont pu être caractérisées : durées d'impact selon le mode de diffusion, formation possible de sous-produits gazeux oxygénés (formaldéhyde, acétone) et de particules fines. Des préconisations sont formulées : étiquetage basé sur des essais d'émissions, pratiques raisonnées, aération des locaux, etc.

Émetteurs de polluants volatils et particulaires potentiellement nocifs à la qualité de l'air intérieur et à la santé des occupants, des désodorisants non combustibles (diffuseurs de parfums et d'huiles essentielles) ont quant à eux été étudiés dans le projet **PRESSENS**, coordonné par le CSTB. Les objectifs étaient

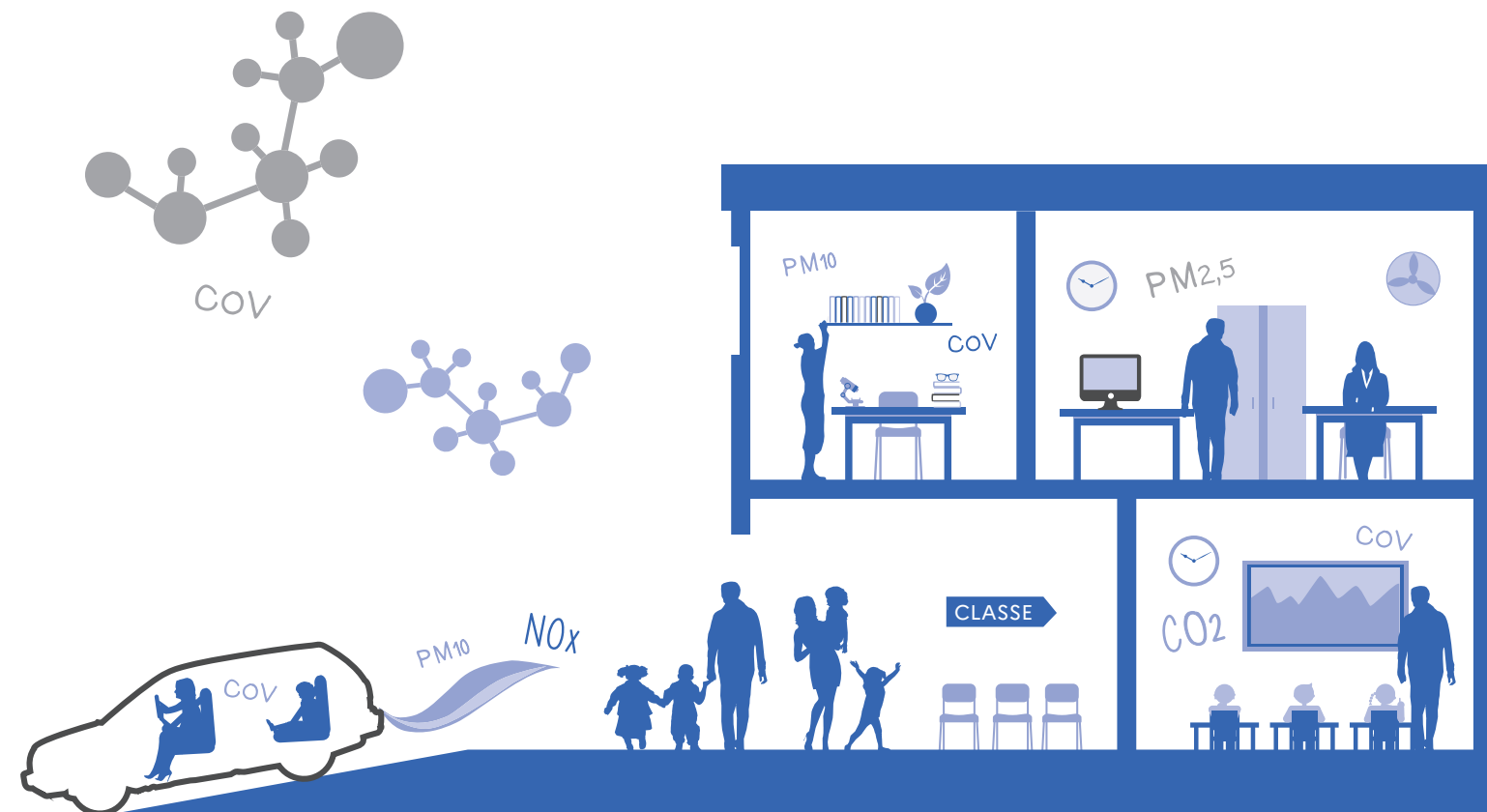
de mettre au point un protocole d'évaluation des émissions volatiles et particulaires en chambre d'essais, puis d'évaluer les émissions des produits en conditions « réalistes » et enfin d'évaluer les expositions et risques sanitaires potentiels lors de l'utilisation de désodorisants non combustibles. Le protocole a permis de déterminer les facteurs d'émissions spécifiques en composés organiques volatils d'une dizaine de parfums d'intérieur. **PRESSENS** a montré que les expositions chroniques

les plus courantes sont « non préoccupantes » ; il apparaît en revanche nécessaire de réduire les expositions chroniques les plus fortes (acroléine, benzène, limonène) ainsi que les expositions aiguës les plus élevées (acroléine, formaldéhyde). Certaines expositions aiguës aux particules peuvent être également préoccupantes, notamment celles aux particules fines PM<sub>2,5</sub> (plusieurs sprays générant des expositions dépassant 100 µg/m<sup>3</sup>).

### Efficacité de matériaux et revêtements adsorbants pour dépolluer l'air intérieur

Le projet **AIMANT** piloté par le LaSIE a examiné l'efficacité de matériaux adsorbants (peintures décoratives et parements contenant des principes actifs fixant ou décomposant des polluants) à réduire de façon significative et durable l'exposition des occupants des lieux de vie. Des essais en chambre ont démontré la forte sélectivité des matériaux adsorbants testés pour le formaldéhyde, l'adsorption significative et irréversible de ce dernier par seulement trois des six matériaux étudiés, et la variation linéaire des flux adsorbés en fonction de la charge de pollution dans l'air. La modélisation a estimé que les concentrations en formaldéhyde pourraient être diminuées d'environ 50% avec une peinture adsorbante neuve et jusqu'à 70% avec une plaque de plâtre neuve avec adsorbant. Si l'effet d'une peinture adsorbante s'avère insignifiant après quelques dizaines de jours, en revanche la durée d'activité de la plaque de plâtre la plus performante pourrait se compter en mois, voire en années.

Présentés comme plus sains pour les habitants, de nouveaux produits de construction sont aujourd'hui commercialisés. Piloté par NOBATEK/INEF4, le projet **SafeMATER** avait pour objectif de comparer les émissions polluantes de huit revêtements de sol souples (PVC, caoutchouc et linoléum) biosourcés, décontaminants ou classiques, largement utilisés en construction de bâtiments. Des tests en laboratoire et à une échelle 1 (réaliste) ont montré que l'émissivité des matériaux neufs (pétrosourcés ou non) est relativement faible. En revanche, le vieillissement est un facteur aggravant : les revêtements de sol souples testés, biosourcés ou non, décontaminants ou non, émettent lors de leur vieillissement d'importantes quantités de COVs carbonylés, ainsi que des composés toxiques dus aux additifs et résidus de dégradation. Il apparaît donc important d'examiner les émissions durant la durée de vie entière des matériaux afin de mieux en évaluer l'impact sanitaire. Les résultats des mesures en laboratoire pouvant différer de ceux en conditions réelles, la prévision de la qualité de l'air intérieur doit tenir compte des effets d'adsorption/désorption et des réactions chimiques en surface ou dans l'air.





# AGRICULTURE

L'agriculture est responsable d'importantes émissions polluantes (ammoniac – NH<sub>3</sub>, particules minérales et organiques dont les aérosols organiques secondaires AOS, composés organiques volatils d'origine biogénique...), nocives pour la santé et l'environnement. Pour approfondir le sujet, l'influence des émissions agricoles sur la qualité de l'air extérieur a fait l'objet de quatre projets CORTEA.

## Identifier et quantifier les polluants émis par une exploitation agricole et des élevages de poules pondeuses

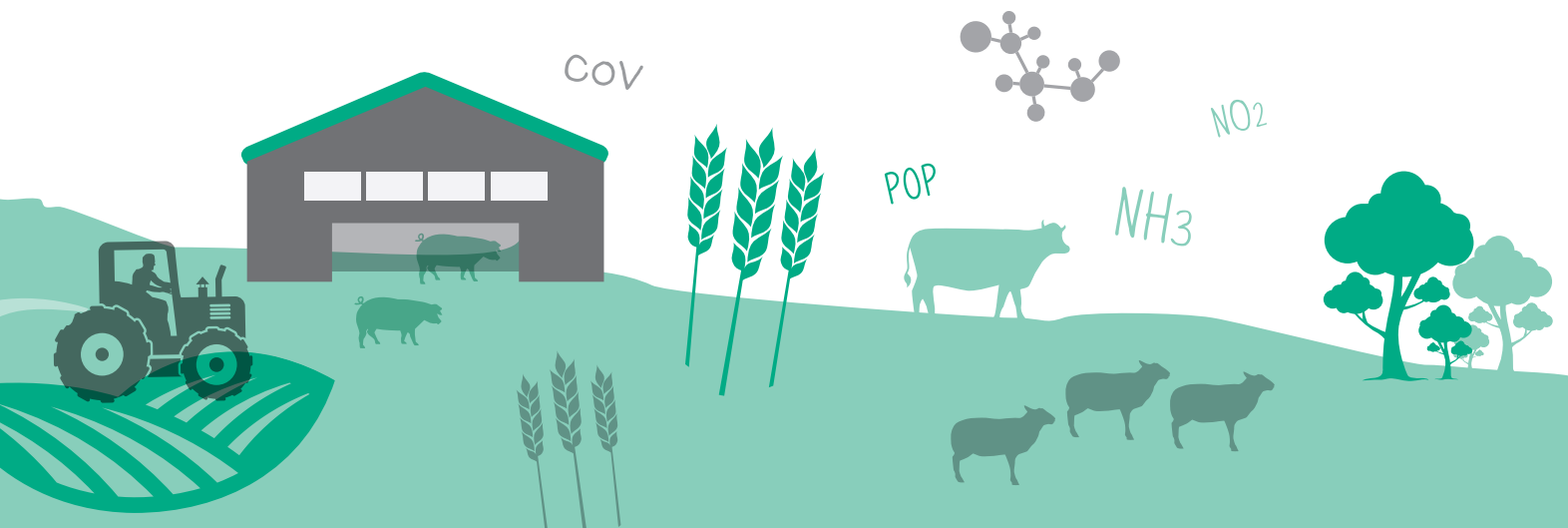
Le projet **AgriMultiPol** coordonné par le LSCE s'est attaché à identifier et quantifier les polluants atmosphériques (particules fines, ammoniac, COV, pesticides) émis par une exploitation agricole modèle (étable, bergerie, extérieur), en contexte périurbain. Une relation directe entre la signature en <sup>13</sup>C du méthane et l'alimentation C3-C4 des animaux a été observée. AgriMultiPol a par ailleurs montré que la source agricole contribuait à environ 20% des teneurs en COV ambiants. Sur les 400 COV détectés dans les bâtiments d'élevage, la moitié environ étaient des COV oxygénés, et un tiers des hydrocarbures. Les facteurs d'émission estimés indiquent que ces sources agricoles seraient du même ordre de grandeur que le trafic routier. AgriMultiPol aura permis de mesurer pour la première fois la volatilisation d'un pesticide en milieu ambiant.

Le projet **FLAPP** piloté par la CRAB visait quant à lui à mieux évaluer les émissions de NH<sub>3</sub> par les poules pondeuses dans les deux principaux systèmes d'élevage français (logement en cages aménagées avec récupération et pré-séchage des fientes, logement en volière avec ou sans gestion des fientes). Le bilan complet des émissions au bâtiment, au stockage et à l'épandage a permis de confirmer l'efficacité des bonnes pratiques mises en place dans la filière française pour réduire les émissions de NH<sub>3</sub> et améliorer la qualité de l'air. L'évacuation fréquente des fientes, en volière ou en cages aménagées, permet ainsi de réduire ses émissions de 60 à 80%. Le séchage des fientes s'est montré d'une grande efficacité : aucune émission de NH<sub>3</sub> n'a été détectée au stockage en sortie du sécheur extérieur ; en revanche, toute réhumidification relance le processus de volatilisation du NH<sub>3</sub>. De même, l'enfouissement direct des fientes prévient efficacement l'émission au moment de l'épandage quand les conditions climatiques sont adaptées.

## Utiliser l'urée du lait comme indicateur pour estimer les rejets azotés et piloter l'alimentation des vaches laitières

Une solution pour réduire les fortes émissions de NH<sub>3</sub> par les bovins serait de piloter finement leur alimentation azotée et de limiter les apports excédentaires en protéines, diminuant ainsi les coûts d'alimentation. Le projet **UREA** piloté par l'Idelc a permis de proposer une méthode d'harmonisation des procédures techniques utilisées dans les laboratoires pour doser l'urée du lait, afin d'assurer la reproductibilité des

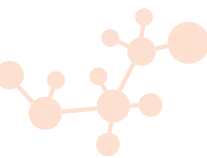
résultats. Un guide de bonnes pratiques d'analyse a été élaboré (diffusé depuis par le Cniel). Un modèle de prévision des rejets azotés à l'échelle d'une vache laitière a également été élaboré et testé. Simplifié au travers d'un méta-modèle, il permet de prédire les rejets d'un troupeau à partir de la teneur en urée du lait, et ce pour une large gamme de rations alimentaires.



## Réactivité des sols agricoles

Les écosystèmes agricoles (sols et végétation) sont d'importants puits d'ozone troposphérique et sources de composés organiques volatils biogéniques (COV<sub>b</sub>), ces derniers formant des polluants secondaires comme l'ozone et les aérosols organiques secondaires (AOS). Le projet **RAVISA** piloté par l'IRCELYON a étudié en laboratoire l'interface sol-litière-atmosphère. Il a notamment permis d'identifier les processus à l'origine du dépôt d'ozone sur les sols et les litières, et de révéler l'importance potentielle de ces derniers en terme

d'émission de COV<sub>b</sub>, et donc de formation d'AOS émis. Des émissions relativement élevées de méthanol (précurseur de formaldéhyde) ont ainsi été mesurées pour tous les types de sols et litière étudiés ; jusqu'à présent, les études de modélisation du méthanol ne tenaient pas compte des émissions du sol ou de la décomposition biotique de la litière végétale. Il est également apparu que changer de type de culture pouvait fortement influencer les émissions de COV<sub>b</sub>.



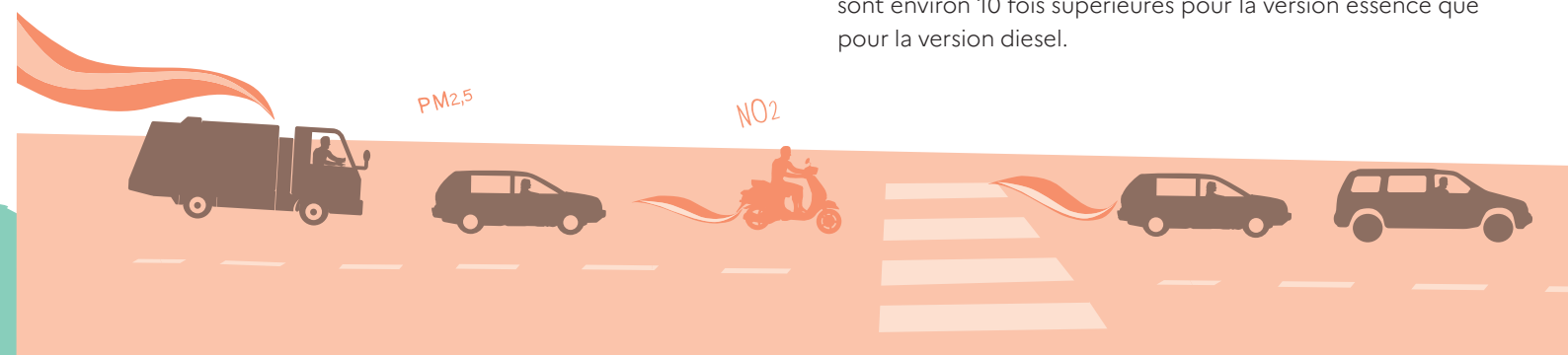
# TRANSPORTS

Les transports (routier et maritime) génèrent une forte pollution atmosphérique. De nouveaux carburants ont été mis au point, ainsi que de nouvelles technologies et de nouvelles normes. Afin de mieux connaître les émissions, de développer des systèmes de traitement et de caractériser l'exposition des usagers de différents modes de transport, CORTEA a soutenu six projets autour de ces problématiques.

## Émissions automobiles : impact de l'éthanol et focus sur les HAP

Le déploiement des biocarburants amène à examiner l'impact sur l'environnement de l'ajout d'éthanol dans l'essence, en mesurant et identifiant les gaz à effet de serre et les polluants émis à l'échappement. Le projet **Ethanol4Future** piloté par l'IFPEN visait à évaluer l'impact environnemental de l'emploi de carburants contenant de l'éthanol sur les émissions polluantes de véhicules. Des essais ont été conduits sur banc à rouleaux avec trois véhicules différents (un flex-fuel et deux équipés de boîtiers de conversion à l'E85 homologués), sur quatre cycles de conduite et ce, avec quatre mélanges de carburant à 10, 20, 50 ou 85% d'éthanol en volume. L'impact de la teneur en éthanol sur les émissions des polluants réglementés ou non apparaît similaire, quelles que soient les technologies des moteurs et des boîtiers E85 testés ; les variations les plus importantes s'observent à 20% vol. d'éthanol, sans toutefois dépasser les seuils Euro 6. Il n'y a donc pas de contrainte à l'intégration de l'éthanol jusqu'à 20% vol. En revanche, des risques d'augmentation de certains polluants apparaissent aux teneurs supérieures.

Par ailleurs, en raison de l'augmentation du trafic, les émissions d'HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) tendent aujourd'hui à croître. Le projet **RHAPSODIE**, lui aussi piloté par l'IFPEN, avait pour objectif d'étudier les émissions polluantes de véhicules équipés de technologies à l'état de l'art de réduction de ces émissions. Trois versions d'une même berline compacte (Essence Euro 6b avec catalyseur 3-voies, Essence Euro 6d-TEMP avec 3WC et filtre à particules, et Diesel Euro 6d-TEMP avec catalyseur d'oxydation, catalyseur SCR et filtre à particules avec fonction SCR intégrée) ont été testées, selon divers cycles de roulage et conditions de démarrage moteur. Ont été mesurés (sur banc à rouleaux avec des carburants standards) les polluants particuliers, les HAP et leurs dérivés nitrés et oxygénés (nitro-HAP et oxy-HAP) et leur répartition entre phase gazeuse et phase particulaire, ainsi que le CO<sub>2</sub> et les polluants primaires gazeux réglementés (CO, HC totaux, NO<sub>x</sub>) ou non (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O...). On constate que les émissions de particules restent toujours inférieures aux normes. Les émissions de HAP, nitro- et oxy-HAP s'échelonnent de quelques µg/km à une centaine de µg/km, et sont à plus de 90% associées à la phase gazeuse ; lors des démarrages à température ambiante, ces émissions sont environ 10 fois supérieures pour la version essence que pour la version diesel.

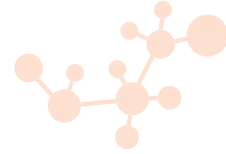




## Précurseurs d'aérosols secondaires émis par le transport routier

La contribution du transport routier aux aérosols organiques secondaires (AOS) reste aujourd'hui mal quantifiée. Coordonné par l'UGE-EASE, le projet **MAESTRO** avait pour but d'améliorer les connaissances sur les émissions et le devenir des composés organiques volatils, volatils intermédiaires et semi-volatils (COV, COVI et COSV) émis par les véhicules particuliers, ainsi que sur la formation des AOS, en vue de mieux paramétrer le vieillissement des émissions dans les modèles de qualité de l'air. MAESTRO a mis en évidence la différence des COV/COVI/COSV émis par les véhicules Diesel

et essence. Les résultats montrent une importante fraction organique secondaire (AOS) après 5-6 h de photo-oxydation, pouvant atteindre 900 µg/km pour une émission primaire en dessous de 100 µg/km. Par ailleurs l'émission des aérosols au pot d'échappement a pu être reliée non seulement à leur évolution en champ proche, mais aussi à la formation des AOS avec des modèles de qualité de l'air, donnant ainsi accès à l'évaluation des paramètres clés de la formation des AOS issus du transport routier.



## Expositions à la pollution de l'air lors des déplacements et traitement

Dans la continuité de précédentes études, le projet **CEATIC-RP** piloté par la RATP visait à établir les niveaux d'exposition auxquels sont soumis les franciliens lorsqu'ils se déplacent entre leur domicile et leur lieu de travail, aux heures de pointe, en utilisant des moyens de transport individuels (automobile, marche, vélo) ou collectifs (RER, métro, bus, tramway). La qualité de l'air a ainsi été mesurée sur 20 trajets différents, selon 7 modes de transport. Les résultats montrent que les concentrations de polluants les plus élevées sont observées dans les véhicules particuliers. Les niveaux de pollution (hors particules fines) décroissent selon la distance au trafic routier, dans l'ordre suivant : voiture, bus, vélos, piétons, tramway, métro et RER. La motorisation du véhicule ou de celui qui le précède ne semble avoir aucun impact significatif. Le principal facteur déterminant la qualité de l'air dans les habitacles étant l'environnement proche, qui

s'est amélioré en 10 ans, les niveaux de NO<sub>2</sub>, benzène et formaldéhyde y ont diminué de 20-30%.

S'inscrivant dans la continuité d'un premier projet, l'objectif de **CYNTAIRE II**, coordonné par MEDINE Technology, était quant à lui de développer un purificateur d'air innovant (électro-filtre combiné à des procédés d'oxydation avancés) pour les habitacles de transport. Ses performances ont été testées en conditions réalistes, en laboratoire puis dans une voiture à l'arrêt et en roulage. Des efficacités de traitement des COV et des particules ultrafines ont été mesurées en laboratoire et dans le véhicule statique, mais n'ont pas été retrouvées dans le véhicule en roulage. Certains verrous techniques doivent être levés : protocoles d'essais véhicules, éco-conception de l'épurateur, modularité, acoustique...

## Optimiser la combustion des moteurs marins

Les moteurs thermiques des navires fonctionnant au fioul lourd génèrent une importante pollution atmosphérique. L'objectif du projet **OCEAMM**, piloté par EcoSoftec, était de faire émerger une technologie innovante de réduction des émissions de particules ultrafines (PUF). L'injection d'un réactif gazeux catalytique dans l'air de combustion d'un moteur marin favorise une meilleure combustion et élimine plus complètement les suies. Des mois d'essais ont

montré que cette technologie pouvait réduire les émissions de particules, tant en nombre qu'en masse, et ce plus particulièrement en mode « manœuvre », lorsque le navire arrive ou quitte le port et que ses moteurs fonctionnent alors à faibles charges ; l'abattement atteint alors 25% (en masse) et 90% (en nombre). Des perspectives d'études complémentaires sont envisagées, notamment pour les moteurs au gaz naturel liquéfié.

# ÉNERGIE ET INDUSTRIE

*La lutte contre les émissions polluantes atmosphériques dues à l'activité industrielle passe notamment par l'amélioration des connaissances en termes de mesure, de modélisation et de réduction de leurs émissions. Les pollutions industrielles liées à la production d'énergie, ou encore à certaines activités de transformation industrielles ont ainsi été l'objet de trois projets récemment terminés dans le cadre de CORTEA.*

## Diminuer l'impact des procédés industriels

Le projet **BIOCER2** piloté par la SCF s'est penché sur la possibilité de réduire, voire d'éviter les conséquences nuisibles pour l'environnement de l'emploi traditionnel de biocides dans les processus de fabrication de céramiques. Il a montré l'efficacité microbiologique de biocides moins réactifs et moins toxiques, et l'importance d'actions préventives sur les sites de production (nettoyage des équipements, suivi de la rhéologie...).

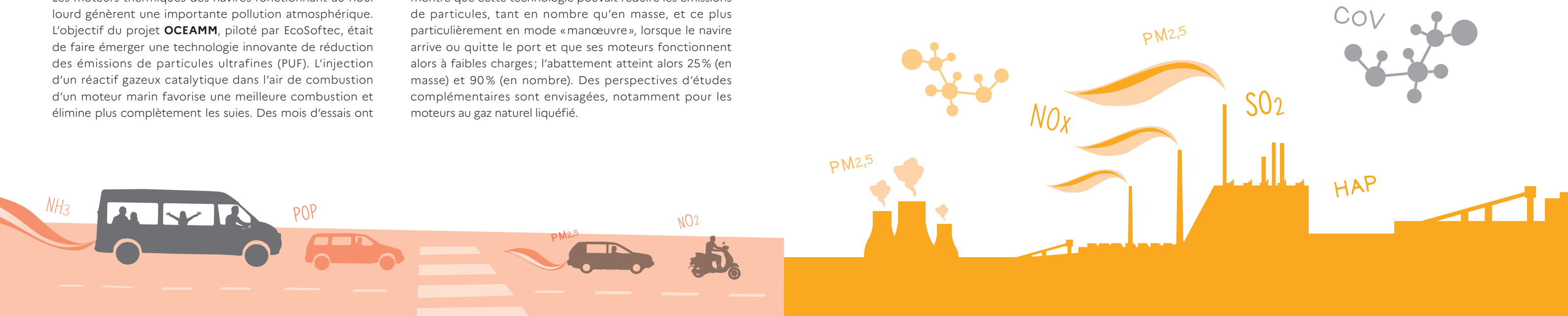
Le projet **PM<sup>3</sup>** coordonné par GINGER-BURGEAP s'est quant à lui attaché à évaluer la pertinence et la précision des méthodes

de mesure des émissions diffuses de particules fines (PM) sur un site industriel, et leur analyse par modélisation inverse. L'absence de données sur les débits réels, la complexité des champs de vent et la présence de nombreuses sources parasites sur les sites expérimentaux n'a pas permis de conclure sur la fiabilité des différentes approches de modélisation inverse mises en œuvre et des estimations associées. Il apparaît pertinent à l'avenir, pour qualifier et évaluer ces approches, de concevoir des campagnes de mesures tests complémentaires sur des sites moins complexes où les débits réels sont connus.

## Réduire les émissions de HAP et augmenter le rendement énergétique de la cogénération

Le projet **RecupEch'HAP** piloté par Atoll Energy visait à repousser les limites traditionnelles des solutions de cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur) en réduisant les émissions de particules imbrulées et en augmentant le rendement énergétique. L'objectif était, en augmentant la chaleur sensible valorisable et en récupérant la chaleur latente de l'eau de combustion, de quasiment doubler la quantité de chaleur récupérée. Le procédé étudié consistait à épurer par catalyse les gaz des particules imbrulées, condensables et HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) qu'ils contiennent.

Deux catalyseurs ont été testés, dont l'un a permis d'abattre les émissions d'hydrocarbures gazeux avec une efficacité atteignant 80% de conversion (à 250°C). Cependant, la quantité de particules produites à faible charge peut colmater le catalyseur, d'où la préconisation de procédures de by-pass sur filtre à particules pour la phase de démarrage. Enfin, une partie des imbrulés semble réfractaire à l'épuration ; une expérimentation à plus haute température apparaît ainsi nécessaire en vue d'une pré-industrialisation.





ILS L'ONT FAIT

## **CORTEA**

### **Synthèse des derniers résultats - Édition 2022**

Les recherches soutenues par l'ADEME sur la thématique qualité de l'air visent à favoriser, accompagner et évaluer des solutions de préservation et d'amélioration de la qualité de l'air mises en œuvre notamment par les entreprises et les collectivités.

En 2011, l'ADEME a lancé le programme « CONnaissances, Réduction à la source et Traitement des Émissions dans l'Air » (CORTEA) dans l'objectif de faire émerger des projets de R&D orientés vers l'amélioration des connaissances sur les émissions de polluants de l'air intérieur et extérieur, et le développement de solutions de réduction et de traitement de ces émissions, en cohérence avec les actions de l'ADEME dans les secteurs de l'agriculture, du bâtiment, de l'industrie, énergie et des transports.

Entre 2011 et 2019, CORTEA a soutenu près de 140 projets, pour une enveloppe globale de 26 millions d'euros d'aide.

Pour en savoir plus : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

Contact :  
*Nathalie Poisson (ADEME/SEQA)*  
[ademe.cortea@ademe.fr](mailto:ademe.cortea@ademe.fr)

