



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



CONNAISSANCE ET RÉDUCTION
DES ÉMISSIONS DE POLLUANTS DE L'AIR



5^e RESTITUTION DU PROGRAMME CORTEA



ILS L'ONT FAIT

CORTEA

Synthèse des derniers résultats

Édition 2020

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 (SO₂) 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_x), l'ozone (O₃), l'ammoniac (NH₃) 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

COMBUSTION DE BIOMASSE

La moitié de l'énergie consommée en France sert à produire de la chaleur, aujourd'hui majoritairement générée par des énergies carbonées (gaz, fioul), importées. Produire cette chaleur à partir de ressources renouvelables telles que le bois permet de « relocaliser » la production d'énergie tout en valorisant les capacités locales. Le chauffage domestique au bois apparaît ainsi comme un enjeu majeur de la transition énergétique. Néanmoins, la combustion du bois peut être source de polluants, en particulier lorsque le processus est mal contrôlé; ceci dépend notamment du type et de l'ancienneté de l'appareil. Souhaitant renforcer les connaissances et appuyer le progrès technique afin d'améliorer la qualité de l'air, CORTEA a soutenu des projets complémentaires autour de cette problématique.

Comparaison d'appareils de chauffage au bois en termes d'impact sur la qualité de l'air intérieur

Les projets CAB-QAI 1 et **CAB-QAI 2**, pilotés par le CSTB, ont évalué l'impact de quatre appareils de chauffage au bois (poêle à granulés, poêle à bûches d'ancienne et de nouvelle génération, et foyer ouvert) sur la qualité de l'air intérieur et ce, en fonction de la perméabilité et de la ventilation du logement. Les résultats montrent une exposition aux polluants (particules, COV, HAP, aldéhydes et cétones...) réduite, sauf dans quelques

cas : augmentation du nombre de particules dans l'air intérieur lorsque le renouvellement d'air est insuffisant, lors des phases d'allumage et de rechargement des foyers ouverts, et lors des premiers feux avec un appareil neuf. Des approches sont proposées pour préserver la qualité de l'air intérieur, en agissant sur la ventilation (taux d'aération) et/ou sur l'appareil de chauffage lui-même (type d'appareil, conception...).



Le projet **QAI Arve**, conduit par l'Ineris, a porté sur la comparaison de la qualité de l'air intérieur avant et après renouvellement d'un foyer ouvert ou d'un appareil ancien, dans une vingtaine de logements de la vallée de l'Arve (Haute-Savoie). Les médianes des mesures « avant et après » ont ainsi diminué pour quasiment tous les polluants et sont, pour la plupart,

du même ordre de grandeur que celles obtenues lors de la campagne « Logements » de l'OQAI (menée entre 2003 et 2005). Notons qu'il apparaît délicat de relier l'évolution des concentrations en polluants avec le changement d'appareil de chauffage. En effet, elles peuvent être dues à de multiples sources intérieures (cuisine, travaux, ménage...).

Réduire les émissions polluantes des foyers domestiques au bois

IDENTECH, autre projet CORTEA piloté par l'Ineris, s'est intéressé aux techniques permettant de réduire les émissions polluantes des foyers domestiques. La caractérisation comparée (performances énergétiques, émissions polluantes) de quatre poêles à bois – deux de fabrication française et deux de fabrication étrangère – et ce, avec deux essences de bois différentes et à diverses allures de chauffe, montre des écarts notables, les deux appareils étrangers apparaissant sensiblement moins émetteurs que les deux poêles français. IDENTECH propose alors, pour ces deux appareils, des recommandations de conception, notamment via l'optimisation de la circulation d'air à l'intérieur du poêle.

Le projet **PREPABOIS**, piloté par l'UHA, s'est quant à lui penché sur l'influence de la qualité (essence) et de la préparation du combustible bois sur les émissions polluantes. En favorisant l'extraction du sodium et du potassium, un lavage (à l'eau) des granulés de bois contribue à réduire de 30% la concentration

moyenne en monoxyde de carbone et en particules (TSP). Question « essence », on constate que les granulés de bois durs (chêne) sont nettement plus émetteurs de TSP que les bois tendres (sapin), mais moins émissifs en HAP totaux. Enfin, le lavage n'a pas d'effet sur les bûches alors que leur écorçage apparaît bénéfique, se traduisant par une réduction notable de la toxicité des HAP émis.

Enfin, le projet **AeroCAB**, coordonné par le CSTB, s'est attaché à développer une modélisation aérodynamique d'un appareil de chauffage au bois. Deux approches ont été utilisées : la modélisation CFD (*Computational Fluid Dynamics*, à partir d'une Conception Assistée par Ordinateur – CAO – simplifiée) et la modélisation ERN (via le logiciel DTS-Pro). Les modèles mis au point, s'ils restent à améliorer, devraient faciliter la tâche des fabricants pour optimiser leur conception d'appareil de chauffage et aboutir, avant prototypage, à une configuration moins émissive.



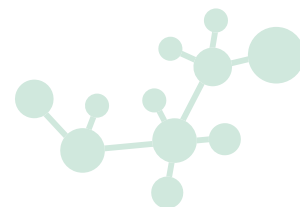
AGRICULTURE

La contribution du secteur agricole à la pollution atmosphérique est manifeste. En 2016, l'agriculture (en particulier l'élevage, l'épandage de lisiers, l'application d'engrais de synthèse...) était ainsi responsable de 94% des émissions d'ammoniac dans l'air. Ce polluant gazeux (NH_3) participe à la formation de particules aériennes nocives pour la santé, l'environnement et le climat. Des projets CORTEA ont permis d'étudier l'influence des émissions agricoles sur la qualité de l'air extérieur.

Mesure des émissions d'ammoniac

Coordonné par AgroParistech, le projet **NUAGE** s'est attaché à développer de nouveaux dispositifs de mesure des émissions (ou dépôts) d'ammoniac (NH_3), fiables, précis et facilement déployables. Grâce à des essais réalisés en région parisienne, NUAGE a permis d'importantes avancées, conduisant notamment à la mise au point de «badges conditionnels» (testés dans diverses conditions pédoclimatiques, ces badges donnent des résultats cohérents avec ceux d'appareils de mesure plus précis) et d'un analyseur de référence pour les flux d'ammoniac (EcoFlux- NH_3). Cela a également permis de constituer un jeu de données des flux d'ammoniac après épandage (mesures passives obtenues sur quatre sites ruraux durant plus d'un an) utiles à la validation des modèles théoriques de prévision de la qualité de l'air. Il apparaît notamment que, sur les sites de mesures urbains, le trafic routier contribue pour environ 40-60% aux émissions de NH_3 . NUAGE a également permis de tester, à l'échelle régionale, le module d'émission d'ammoniac après épandage «EMIBIO», intégré dans le modèle de prédiction d'Airparif.

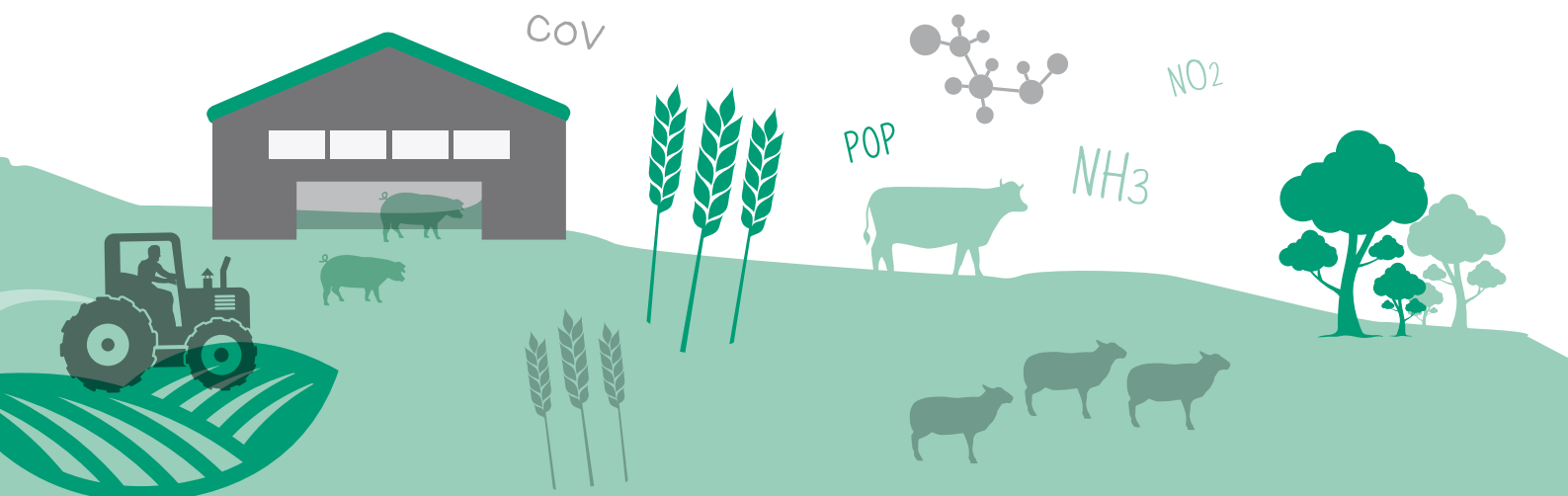
Parallèlement, le projet **EVAPRO**, piloté par ARVALIS, a évalué les pertes d'azote par volatilisation ammoniacale suite à l'épandage de produits résiduels organiques (PRO). EVAPRO a ainsi permis de valider la méthode Volat' NH_3 (utilisant le modèle FIDES inversé) grâce à un dispositif d'émissions «connues en tous points» basé sur la mesure de concentration par un analyseur CRDS Picarro. Ces mesures ont donné des résultats de volatilisation inédits sur 31 modalités d'épandage de PRO. La cinétique de volatilisation de l'azote ammoniac apparaît ainsi beaucoup plus rapide que celle des engrais minéraux. Autre avancée d'EVAPRO, la validation de l'outil CADASTRE_ NH_3 , qui offre une alternative prometteuse pour la réalisation d'inventaires d'émissions du NH_3 à grande échelle. Plusieurs autres projets ont été lancés pour compléter et approfondir ces résultats.



Pollution par les COV et les PPP

Le projet **COV³ER**, piloté par INRAE, s'est quant à lui intéressé à une pollution moins connue, celle liée aux Composés Organiques Volatils d'origine biogénique (COVB) émis par les

«écosystèmes gérés» (parcelles cultivées, espaces forestiers...). COV³ER a plus particulièrement porté sur la quantification des COVB selon le type de culture (colza, blé...), l'essence forestière





(chêne vert...), voire entre plants d'une même espèce. L'enjeu de cette « brique de connaissance » est considérable, avec des répercussions multiples sur l'état des connaissances dans ce domaine (ozone émis, formation des particules...) et la validation des modélisations de pics de pollution.

Enfin, sous l'impulsion des pouvoirs publics souhaitant disposer à terme d'un moyen de mesure des quantités de pesticides dans l'air, le projet **PREPARE**, également piloté par INRAE, s'est

attaché à développer des protocoles expérimentaux standards et consensuels aptes à la mesure des produits phytopharmaceutiques (PPP) ou phytosanitaires sur deux axes prioritaires : la dérive aérienne lors de l'application, et la volatilisation des sols et des plantes. La synthèse bibliographique des méthodes de mesure expérimentales actuelles et des jeux de données obtenus sur le terrain, couplée à un workshop international, ont révélé la grande disparité des mesures d'émissions, tout en faisant des propositions d'harmonisation de protocoles.

I TRANSPORTS

Certains polluants émis par les transports vers l'environnement sont déjà bien connus. L'évolution des préoccupations sanitaires et environnementales conduit néanmoins à devoir s'intéresser à d'autres polluants, notamment en zones urbaines ou routières. Ainsi CORTEA s'est penché sur l'ozone, les particules fines et les éléments du groupe du platine.

Dégradation des convertisseurs catalytiques

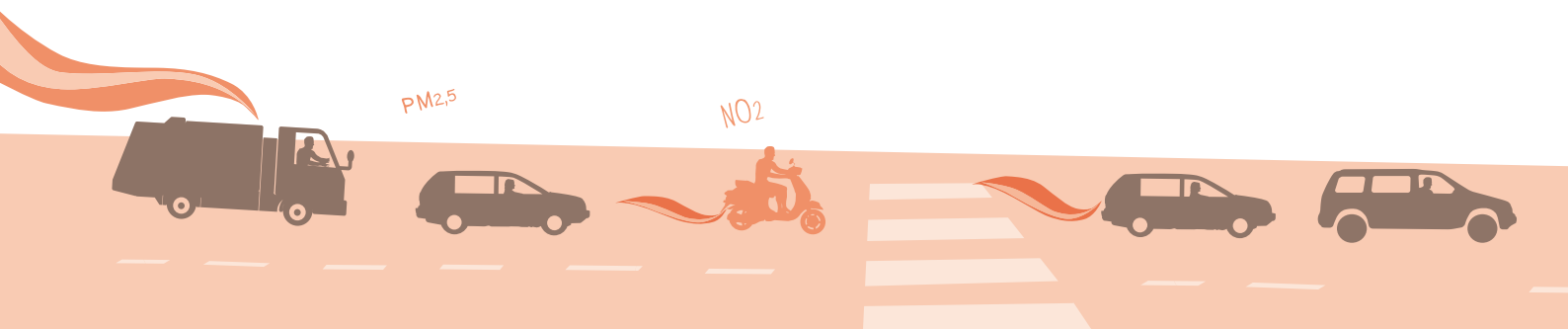
Le projet **CEGEP**, piloté par l'université Gustave Eiffel, a étudié l'émission dans l'environnement des éléments du groupe du platine (PGE) suite au vieillissement des convertisseurs catalytiques des véhicules routiers à moteur à combustion interne. L'objectif était de mettre au point une méthode et sa chaîne métrologique pour déterminer, notamment en milieu urbain, les facteurs d'émissions et les concentrations

de PGE en champ proche. Une analyse détaillée montre d'ailleurs que ces PGE peuvent être présents sous forme de nanoparticules individuelles ou piégées dans de la suie, ou encore sous des formes réactives éventuellement mobiles. Des travaux complémentaires sont à prévoir : problème des faibles concentrations en présence, étude des facteurs d'influence (climat, chaussée, âge du véhicule...).

Qualité de l'air à l'intérieur des véhicules et en milieu urbain

Le projet **QABINE 2**, piloté par l'Ineris, s'est quant à lui penché sur le développement d'un protocole de mesure par gravimétrie des concentrations massiques de particules à l'intérieur et à l'extérieur d'un véhicule en roulage. QABINE 2 a ainsi permis de mesurer l'efficacité moyenne de filtration des particules $PM_{1,0}$ $PM_{2,5}$ de deux filtres à air habitacle sur des parcours en ville. Par ailleurs, il a été comparé les mesures gravimétriques de référence à celles données par trois micro-capteurs grand public et deux compteurs optiques différents de laboratoire.

Enfin, coordonné par le CNRS, le projet **MESUrPOP** a étudié les profils verticaux d'ozone et le nombre de particules, et cartographié les concentrations de particules à différentes altitudes. Pour cela, divers instruments ont été installés à bord d'un ballon touristique à Paris, dont un lidar qui a mis en évidence l'importance des charges en particules au-dessus des voies routières denses.



ÉNERGIE ET INDUSTRIE

Si les pollutions aériennes des industries de transformation classiques sont aujourd'hui bien documentées et suivies, quelques secteurs cherchent encore des solutions d'abattement plus efficaces. En outre, certaines pollutions sont moins maîtrisées dans des industries en développement, telles que celles liées à la production d'énergie à partir de biomasse ou de déchets et celles utilisant des nanomatériaux. C'est pourquoi CORTEA a soutenu des projets autour de trois thèmes : la pollution des industries de transformation, la pollution en production d'énergie par combustion, et la pollution issue d'unités de traitement & valorisation des déchets.

Connaissance et traitement des émissions industrielles

Deux projets complémentaires ont porté sur le traitement des fumées industrielles. **DEPOL2**, piloté par SAVERGLASS, s'est ainsi penché sur le développement et le test industriel de technologies innovantes de traitement des fumées d'un four verrier, en expérimentant deux stratégies. La première (voie humide) comporte une condensation étagée des espèces azotées et soufrées contenues dans les fumées couplée à une récupération d'énergie, et une absorption des espèces résiduelles dans une solution de lessive de soufre. La seconde (voie sèche), intégrée dans le processus traditionnel de traitement des poussières et SO_x , consiste à injecter dans les fumées un oxydant puissant (eau oxygénée), afin de piéger les NO_x et une plus grande partie de SO_x dans l'électro-filtre disposé en aval de l'injection. Aucune de ces deux stratégies n'a donné de résultats satisfaisants. Néanmoins, compte tenu du gain apporté par le second procédé en termes de désulfuration, et compte tenu de la bonne capacité d'absorption en voie liquide du dioxyde d'azote produit, une piste serait d'intégrer avant l'exutoire un module d'absorption contenant une solution alcaline capable de produire un effluent liquide fortement azoté.

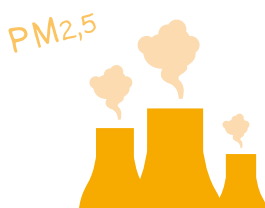
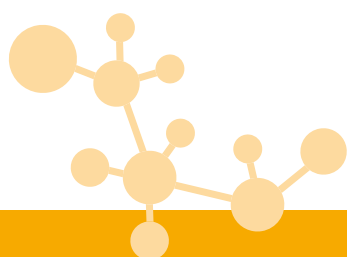
Le projet **ECOV**, piloté par l'ENSCR, s'est quant à lui intéressé à la mise au point d'un traitement économique et « vert » des émissions de composés organiques volatils (COV) hydrophobes par absorption dans une huile-déchets régénérable. Le procédé présente un réel potentiel et les essais à l'échelle pilote sont apparus très satisfaisants concernant les deux principales étapes du procédé étudié : l'absorption de COV dans une phase non aqueuse, et la régénération biologique de celle-ci. Reste à résoudre le problème de la formation d'une émulsion lors de la séparation, étape essentielle pour le recyclage de la phase non-aqueuse.

Le projet **Nano-Ident**, piloté par l'Ineris, a porté de son côté sur un sujet d'actualité croissante : l'évaluation de la pollution autour de sites producteurs et/ou utilisateurs de nanomatériaux. Les premiers résultats montrent que seule une fraction des particules émises participe à la formation de dépôts surfaciques en champ proche, le reste demeurant en suspension dans l'air. On note en revanche la présence de nanoparticules dans les eaux et sédiments en aval du site. Nano-Ident a, en tout état de cause, confirmé l'intérêt des préleveurs Nano-badge et MPS, ainsi que des mesures sur bio-films.

Réduction des émissions des installations industrielles de combustion

La production d'énergie à partir de la biomasse, en grand développement dans notre pays, a fait l'objet du projet **ACOPEM**, coordonné par ENVEA, dédié au développement d'un nouveau dispositif de mesure par granulométrie optique des fractions massiques et concentrations en particules en sortie d'installation. S'il n'a pas été possible d'effectuer une

démonstration en conditions réelles, ACOPEM a cependant permis de développer un nouveau concept de granulomètre optique. Les premiers résultats de validation en laboratoire sont très prometteurs. Une fois validé industriellement, le concept sera breveté.





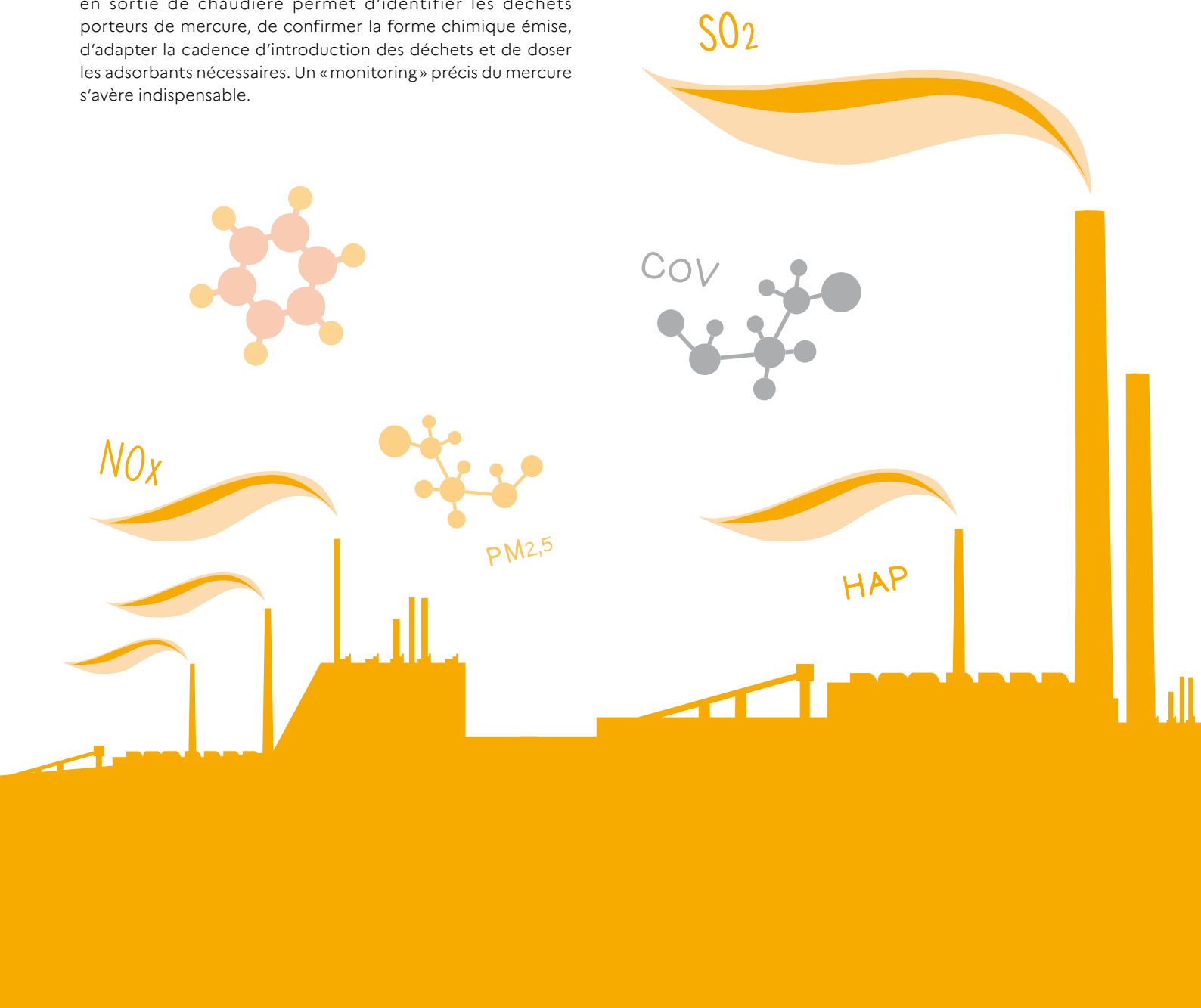
Un autre projet, **AdSOx**, piloté par GE, s'est pour sa part focalisé sur la conception et la validation d'un procédé industriel innovant de désulfuration de fumées de combustion de combustibles fossiles, grâce à des billes adsorbantes (SBA-15) imprégnées d'oxyde de cuivre, régénérables. Les essais sur un pilote semi-industriel (banc brûleur en lit fluidisé générant des fumées) se sont révélés extrêmement encourageants : synthèse à grande échelle du matériau support, bonne résis-

tance mécanique des billes, taux de capture des SO_x allant jusqu'à 70% et stabilité sur 25 cycles... Capable de réduire considérablement l'impact écologique des installations de combustion à énergie fossile, ce procédé de désulfuration sur adsorbant régénérable s'avère particulièrement intéressant pour les centrales thermiques brûlant du charbon fortement soufré ou des résidus de fuel liquide, et pour les installations industrielles de types « cimenterie » ou « grillage de minerais ».

Émissions polluantes (mercure, nanoparticules) lors du traitement des déchets

Enfin, deux projets ont concerné la problématique du traitement des déchets. Le premier, **MIMOSA**, pilote par Séché, s'est attaché à explorer le devenir du mercure lors de l'incinération des déchets, avec notamment l'évolution de sa spéciation en fonction des conditions physico-chimiques opératoires. Les expérimentations, réalisées en conditions réelles avec trois types de déchets, montrent que le mercure est surtout présent sous forme ionisée (chlorure mercurique). Un analyseur en sortie de chaudière permet d'identifier les déchets porteurs de mercure, de confirmer la forme chimique émise, d'adapter la cadence d'introduction des déchets et de doser les adsorbants nécessaires. Un « monitoring » précis du mercure s'avère indispensable.

Le deuxième projet, **Nano-Wet**, coordonné par l'IMT Atlantique, a examiné les émissions de nanoparticules lors de l'incinération de déchets contenant des nanomatériaux, ainsi que les moyens de réduire ces émissions. On note l'influence significative de la température sur l'évolution de la nanostructure des particules. Par ailleurs, l'introduction d'une tour de lavage des gaz se révèle d'une efficacité supérieure à 40%.





ILS L'ONT FAIT

CORTEA

Synthèse des derniers résultats

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

Contact :
Nathalie Poisson (ADEME/SEQA)
ademe.cortea@ademe.fr

