

La transition énergétique  
en actions

P. 1

**ACTUALITÉ**

Le chauffage au bois, un enjeu dans la transition énergétique et écologique

P. 3

**RÉSULTATS SIGNIFICATIFS**

Les connaissances récentes dans le chauffage au bois

P. 5

**RENCONTRE AVEC...**

Serge Collet et Florence Proharam : « Mieux explorer les conditions réelles d'utilisation des appareils de chauffage »



**ÉDITORIAL**

**MARIE-CHRISTINE PRÉMARTIN**  
DIRECTRICE EXÉCUTIVE  
DES PROGRAMMES À L'ADEME

Enjeu important de la transition énergétique, la biomasse est une énergie compétitive, et la filière des appareils domestiques de chauffage au bois génère près de 20 % des emplois liés aux EnR. Cependant, dans certaines situations, le chauffage au bois, notamment domestique, peut contribuer à la pollution de l'air. Développer les appareils les plus performants, utiliser les combustibles les plus efficaces et identifier les conditions optimales d'utilisation de ces équipements sont donc des enjeux de recherche importants, ainsi que la connaissance de la formation et donc de la concentration des polluants dans l'air. L'ADEME soutient des projets de recherche sur le chauffage domestique au bois depuis 2005, et organise avec le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), dans le cadre de leur programme de recherche conjoint PRIMEQUAL, un colloque sur le thème du chauffage individuel au bois le 25 septembre 2018 à Lyon. Destiné aux décideurs et acteurs de la qualité de l'air et aux acteurs de la filière bois énergie, ce colloque fera le point sur l'état des connaissances acquises et mettra les résultats des recherches en perspective avec l'action publique.

**ACTUALITÉ**

**LE CHAUFFAGE  
AU BOIS, UN ENJEU  
DANS LA TRANSITION  
ÉNERGÉTIQUE  
ET ÉCOLOGIQUE**

*De recherches portant initialement sur l'énergie, les projets ont peu à peu évolué pour mieux prendre en compte la qualité de l'air.*

Les recherches sur le chauffage domestique au bois ont été soutenues dès 2005 par l'ADEME à travers l'appel à projets « Recherche et Développement, Innovation : chauffage domestique au bois ». Les projets portaient alors essentiellement sur l'énergie (chaudières à condensation, foyers à grande vision). Les enjeux ont peu à peu évolué pour mieux prendre en compte la qualité de l'air, et l'accompagnement de ces thématiques de recherche par l'ADEME s'est donc prolongé avec l'appel à projet BIP : « Bioressources, Industries et Performances » à partir de 2008.



## LA BIOMASSE SOLIDE : UN ENJEU STRATÉGIQUE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

La biomasse représente la part la plus importante de l'objectif de chaleur renouvelable de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2016-2023 (80 % en 2018 et autour de 75 % en 2023) à raison de 13 Mtep de production d'énergie en 2023. Pour atteindre cet objectif, le parc des appareils de chauffage domestique se doit d'être optimisé afin que la consommation nationale en bois (bûches et granulés) reste constante à environ 7 Mtep avec un nombre d'utilisateurs plus important, grâce à un meilleur rendement énergétique des appareils. Les objectifs de la PPE visent également un fort développement de la production de chaleur biomasse sur les secteurs collectif et industriel.

La biomasse est une énergie économiquement compétitive pour les particuliers. Pour un logement, le bois bûche est presque deux fois moins cher que le gaz naturel et le fioul. Par ailleurs, en termes d'emplois<sup>1</sup>, en 2015, la filière des appareils domestiques de chauffage au bois représentait 15 560 ETP, ce qui correspond à plus de 19 % des emplois EnR, et les effectifs de la filière bois collectif ont poursuivi leur croissance pour atteindre 6 640 ETP en 2015 (soit 8,2 % des emplois EnR). Ces emplois sont en outre peu délocalisables.

### RÉDUIRE LES IMPACTS DU CHAUFFAGE AU BOIS

Les émissions de polluants liées au bois énergie représentent 28 % des émissions nationales de PM<sub>10</sub> et 44 % des émissions nationales de PM<sub>2,5</sub> (chiffres CITEPA pour 2015). Il est à noter que ces chiffres d'émissions nationaux ne tiennent compte ni des disparités locales liées à la météorologie et à la typologie des lieux, ni des polluants secondaires formés à partir des émissions primaires de polluants. Par ailleurs, ce sont des chiffres annuels, ne tenant pas compte des variations d'émissions temporelles, notamment estival-hivernal. Localement, et à certains moments de l'année, le chauffage au bois peut contribuer de façon majoritaire aux concentrations de particules fines.

L'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air est essentiellement lié au résidentiel individuel (96 % pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>). L'enjeu concernant la réduction des émissions de polluants du chauffage biomasse est donc essentiellement lié au secteur domestique. Dans ce secteur, les appareils non performants (foyers ouverts et foyers fermés antérieurs à 2002), qui représentent 50 % du parc national, contribuent à 80 % des émissions de particules fines.

Face à l'enjeu important que représente le développement de la biomasse dans l'atteinte des objectifs de la France en matière d'énergies renouvelables, il est indispensable de veiller à limiter l'impact du chauffage domestique au bois sur la qualité de l'air.

Les nombreuses connaissances accumulées ces dix dernières années grâce aux travaux de recherche menés dans le cadre des programmes de l'ADEME, en particulier CORTEA, dédié à l'amélioration des connaissances sur les émissions de polluants et au développement de solutions de réductions, et PRIMEQUAL, Programme de Recherche Inter-organisme pour une

MEilleure QUALité de l'air, ont permis de mieux qualifier le lien entre le chauffage au bois et la pollution de l'air et de mettre en œuvre des actions adaptées aux enjeux. Un exemple : l'appel à projets Fonds air-bois de l'ADEME vise à accompagner les collectivités, dans les territoires les plus pollués, dans la mise en place d'une aide au remplacement des appareils non performants par des appareils labélisés Flamme verte<sup>7\*</sup>, ainsi qu'à la mise en œuvre de bonnes pratiques (installations, entretien, utilisation).

D'après les résultats des nombreux projets de recherche financés par l'ADEME, il est nécessaire de continuer à optimiser les performances des appareils à allure réduite et la qualité des combustibles, ainsi qu'à améliorer les connaissances sur les émissions et la sensibilisation des utilisateurs aux bonnes pratiques. Par ailleurs, il convient de noter que, si les connaissances sur les émissions liées au chauffage bois se sont améliorées au cours des dernières années, les connaissances relatives aux impacts sur la qualité de l'air des énergies concurrentes sont très parcellaires.

1. <http://www.ademe.fr/marches-emploi-lefficacite-energetique-enr>



> [nathalie.poisson@ademe.fr](mailto:nathalie.poisson@ademe.fr)  
> [isabelle.augevenbour@ademe.fr](mailto:isabelle.augevenbour@ademe.fr)  
> [florence.proharam@ademe.fr](mailto:florence.proharam@ademe.fr)

## Zoom sur...

### LE CONCOURS INNOVATION

Les petites et moyennes entreprises (PME) françaises jouent un rôle majeur dans la croissance économique nationale. Le « Concours d'innovation » (CI), financé par le Programme d'Investissements d'Avenir (PIA), vise à soutenir des projets innovants portés par des start-up et des PME (selon le droit européen), et à favoriser l'émergence accélérée d'entreprises leaders dans leur domaine, pouvant prétendre à une envergure mondiale. Il sélectionne, dans le cadre d'une procédure

favorisant la compétition, des projets d'innovation au potentiel particulièrement fort pour l'économie française. Il permet de cofinancer des projets de recherche, développement et innovation, dont les coûts totaux se situent entre 600 K€ et 5 M€, et contribue à accélérer le développement et la mise sur le marché de solutions et technologies innovantes. Les projets soutenus dans le cadre de ce Concours sont portés par une entreprise unique et sont non collaboratifs.

# LES CONNAISSANCES RÉCENTES SUR LE CHAUFFAGE AU BOIS

*Des innovations technologiques récentes ont montré qu'il est possible de diminuer significativement l'impact sur la qualité de l'air des appareils domestiques de chauffage au bois. Dimensionnement de l'installation, respect des indications de la notice et choix du combustible : le comportement des utilisateurs est également primordial.*

L'état de l'art montre que divers paramètres peuvent influencer l'impact environnemental du chauffage au bois. Ces paramètres sont liés soit aux appareils et à leur fonctionnement : allure de fonctionnement, mode d'allumage, vieillissement ; soit au combustible : charge de combustible, humidité et essence du bois, présence d'écorce. Tous ces paramètres peuvent avoir une influence sur les émissions de polluants (hydrocarbures aromatiques polycycliques, particules fines, composés organiques volatils totaux...), ainsi que sur le rendement de l'appareil. Le respect des règles de l'art pour la mise en œuvre et le bon dimensionnement d'une installation par rapport au logement est aussi important.

## L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES APPAREILS

Une revue bibliographique réalisée récemment par l'INERIS<sup>1</sup> montre que les émissions de polluants peuvent augmenter sensiblement en fonction de l'allure de fonctionnement d'un appareil (détaillée dans la troisième partie de cet article). Par ailleurs, Benoît Brandelet, dans sa thèse soutenue pour l'ADEME en 2016, a étudié les émissions liées aux trois étapes de la combustion du bois : l'allumage, la combustion homogène (appelée aussi vive ou stable, qui s'arrête quand les flammes disparaissent) et le régime de braises (ou combustion hétérogène, qui s'arrête quand 98 % du combustible a été brûlé). La thèse montre que les émissions polluantes varient au cours des différents cycles de combustion et qu'une grande disparité de performances existe entre les appareils.

L'influence de l'installation, de l'entretien et des pratiques des utilisateurs sur les émissions est également très importante. Ainsi, dans le cas du chauffage domestique utilisant le bois bûche

comme combustible, un appareil de performances équivalentes au label Flamme verte 7\* peut émettre, pour une même quantité d'énergie produite et avec des pratiques d'installation, d'entretien et d'usage adéquates, jusqu'à 30 fois moins de particules fines qu'un foyer ouvert et jusqu'à 13 fois moins qu'un foyer fermé non performant (antérieur à 2002).

Enfin, des solutions de réduction des émissions pourraient apparaître comme une alternative au remplacement des appareils. Néanmoins, comme le démontre l'étude ERFI<sup>2</sup> réalisée par l'INERIS pour l'ADEME, le coût de ces dispositifs au regard de leur efficacité de réduction des émissions de polluants et de leur absence d'effet significatif sur les rendements, fait qu'il est souhaitable de privilégier le remplacement d'un appareil non performant par un appareil Flamme verte 7\*.

## DE L'INFLUENCE DES COMBUSTIBLES À CELLE DU COMPORTEMENT DE L'UTILISATEUR

De nombreuses essences de bois sont utilisées comme bois de chauffage : chêne, charme, hêtre, châtaignier, pin, arbres fruitiers... la composition chimique de ces espèces étant différente, la combustion se déroule différemment, avec des impacts variables sur les émissions de polluants.

Le projet de recherche Qualicomb a étudié l'impact d'autres paramètres que l'essence et l'humidité sur les émissions polluantes, en particulier pour les particules. Il en ressort que l'utilisation d'un combustible sec, calibré et écorcé permet d'optimiser les performances des poêles et des inserts, quel que soit leur âge.

> Mesure de la qualité de l'air extérieur





© ADEME

&gt; Poêle à bois

Il s'avère également que les conditions d'utilisation des appareils impactent leur performance en termes de pollution. L'efficacité de plusieurs bonnes pratiques a pu être démontrée. Selon la thèse de Benoît Brandelet (citée précédemment), en allumant le combustible par le haut, celui-ci se réchauffe et brûle progressivement, ce qui a pour effet de diminuer les émissions. Cette pratique n'est toutefois pas préconisée pour certains appareils très récents, optimisés pour l'allumage par le bas. Une autre pratique mise en avant par les résultats croisés des projets Espace bois et Identech est de réduire la charge de combustible introduite plutôt qu'obturer les entrées d'air pour limiter la puissance délivrée par l'appareil. En effet, un fonctionnement avec moins de bois dans le foyer s'avère moins polluant qu'un fonctionnement avec des entrées d'air fermées.

Le projet de recherche Espace bois a montré l'influence des paramètres de réglage des appareils. Ainsi, par comparaison à une charge nominale, la charge d'allumage génère 2 à 5 fois plus de monoxyde de carbone, 5 fois plus de particules totales (TSP) en masse et 2 fois plus de particules fines ( $PM_{2,5}$ ) en nombre. Une allure prolongée (~ 4 h), pour laquelle des réglages spécifiques ont été définis par le fabricant, est caractérisée par de faibles émissions de composés organiques (THC) et particules ( $PM_{2,5}$  et TSP) mais présente un impact négatif vis-à-vis des émissions de CO. L'action de l'opérateur a donc un impact fort sur les émissions produites par le foyer. Des actions de sensibilisation plus ciblées auprès des particuliers seront réalisées suite à ces études.

Enfin le projet Vulcain vise à améliorer les connaissances concernant l'impact global des émissions de polluants liées au chauffage domestique au bois (combustibles bûches et granulés), en tenant compte de la transformation de l'aérosol au cours de son vieillissement atmosphérique.

Les expériences ont mis en évidence que la concentration en aérosol organique primaire (émis directement par l'appareil de chauffage) peut être multipliée par un facteur allant jusqu'à 7 au cours du vieillissement atmosphérique. La formation de l'aérosol organique secondaire (résultant de la transformation des émissions primaires par réactions chimiques et photochimiques dans l'air) est extrêmement rapide : une heure de vieillissement atmosphérique suffit pour atteindre les concentrations observées. Pour appréhender l'impact global des émissions de combustion de biomasse sur la qualité de l'air, il apparaît donc essentiel de prendre en compte le potentiel de formation d'aérosol secondaire.

1. Influence de divers paramètres sur les performances environnementales et énergétiques des appareils domestiques fonctionnant au bois, avril 2018

2. Évaluation des performances des systèmes de réduction des émissions de polluants pour les appareils individuels de chauffage au bois

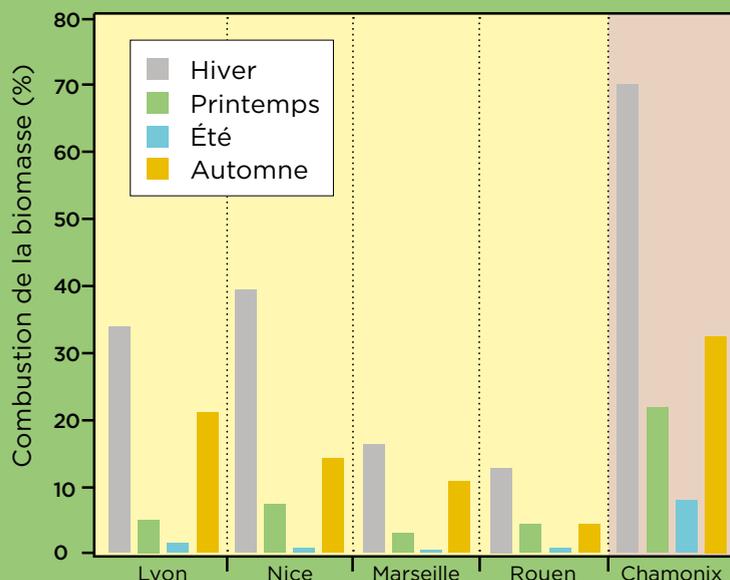


> [florence.proharam@ademe.fr](mailto:florence.proharam@ademe.fr)  
> [isabelle.augevenbour@ademe.fr](mailto:isabelle.augevenbour@ademe.fr)

### aller + loin

#### LE PROJET SOURCES : RÉANALYSER LES SOURCES DE PARTICULES FINES EN FRANCE

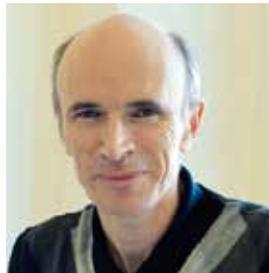
La méthodologie développée dans le projet SOURCES permet la ré-analyse de jeux de données issus d'études récentes sur les sources de particules fines dans l'air en France. Cette méthodologie a été appliquée à une quinzaine de jeux de données collectés ces dernières années, permettant ainsi de comparer les résultats de ces projets, ce qui n'était pas possible auparavant. Concernant la combustion de biomasse, une forte variabilité spatiale et saisonnière est observée. Par exemple, cette source contribue en hiver pour 70 % à la masse des  $PM_{10}$  à Chamonix contre 13 % à Rouen.



La couleur du fond indique la typologie du site : jaune pour urbain, marron pour vallée alpine.

## RENCONTRE AVEC...

**SERGE COLLET**  
INGÉNIEUR ÉTUDE  
ET RECHERCHE À  
L'INSTITUT NATIONAL  
DE L'ENVIRONNEMENT  
INDUSTRIEL ET DES RISQUES  
(INERIS)



**FLORENCE PROHARAM**  
INGÉNIEURE BIOMASSE  
ÉNERGIE - QUALITÉ  
DE L'AIR À L'ADEME



## QUALITÉ DE L'AIR

## « MIEUX EXPLORER LES CONDITIONS RÉELLES D'UTILISATION DES APPAREILS DE CHAUFFAGE »

*Ces dernières années, les constructeurs ont développé des appareils de chauffage au bois visant à réduire les émissions de polluants. De nombreuses pistes de recherche restent néanmoins à explorer. Pour optimiser la combustion, mais aussi pour faire des utilisateurs des acteurs à part entière de la qualité de l'air.*

### Comment les appareils de chauffage au bois ont-ils évolué ces dernières années ?

**Serge Collet :** Depuis les années 2000, les constructeurs développent des appareils capables de répondre aux exigences du label Flamme verte. Entre autres innovations, l'introduction d'air secondaire me paraît la plus importante : lors de la dégradation des bûches, du gaz combustible se forme ; l'injection d'un air dit « secondaire » permet de brûler ce gaz, et de réduire drastiquement les émissions polluantes. Principal écueil : l'effet de cet air secondaire est surtout visible à allure nominale (utilisée lors des tests normatifs). À l'allure la plus utilisée, à savoir l'allure réduite, son effet reste encore modeste. Enfin, les constructeurs ont rendu les chambres de combustion étanches et ont optimisé les entrées d'air et le préchauffage de l'air (ce qui améliore la qualité de la combustion et diminue les émissions de polluants). Ils ont par ailleurs supprimé du marché les appareils à marche continue au profit d'appareils à marche intermittente nettement moins polluants.

### Ces évolutions technologiques ont-elles un impact sur les émissions polluantes ?

**Florence Proharam :** Tout à fait. Les critères de Flamme verte sur les émissions de particules sont passés de 250 mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub> en 2008 à 50 mg/m<sup>3</sup> en 2018. Cependant, ces données ne reflètent pas les émissions à usage réel des appareils. Des optimisations sont encore possibles sur des fonctionnements à allure réduite.

### Comment les appareils de chauffage peuvent-ils aller encore plus loin ?

**S. C. :** Il reste à comprendre comment améliorer la combustion pour, *in fine*, limiter les émissions polluantes à de très faibles niveaux, difficiles à atteindre ; de

nouveaux logiciels vont nous y aider. Déjà, nous savons que, dans la mesure où le pic de pollution se fait en début de combustion, il faut rendre la combustion plus progressive (nous commençons à peine à le faire) afin d'éviter un emballement de la combustion, que nous ne savons pas gérer.

### De quelles options disposent les constructeurs pour améliorer la qualité de combustion ?

**S. C. :** Les essais que nous avons réalisés sur nos installations montrent qu'ils en ont deux : ils peuvent optimiser le mélange entre l'air comburant et les gaz combustibles grâce à l'apport d'un air secondaire qui favorise la turbulence dans la chambre ; ils peuvent également opter pour une combustion en deux étapes (dite « étagée »), avec une dégradation progressive des bûches au niveau de la sole puis la montée des gaz combustibles au niveau du déflecteur, où ils rencontreront une zone riche en oxygène apportée par l'air secondaire, sans turbulence pour ne pas accélérer la dégradation des bûches. Cette option doit encore être travaillée, de même que deux autres pistes prometteuses comme l'introduction d'une

### Bia express

Serge Collet est ingénieur étude et recherche à Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS). Ses travaux portent plus particulièrement sur la caractérisation des émissions atmosphériques (notamment dans le cadre des usages domestiques). Il est par ailleurs responsable de deux projets de recherche financés par l'ADEME (les projets CORTEA AFAC et IDENTECH) visant à connaître et limiter les émissions polluantes.

régulation d'air au niveau des bûches lors de l'allumage ou le design de la chambre afin de favoriser les écoulements et d'éviter les zones mortes. Mais les constructeurs sont confrontés à un problème de taille : leurs ventes ont beaucoup chuté ces dernières années, et la R&D n'est donc plus leur priorité. Dans la mesure où la R&D d'aujourd'hui assure la qualité de l'air de demain, il me semble nécessaire que les pouvoirs publics accompagnent les constructeurs pour faire émerger de nouvelles solutions techniques.

### Les comportements des utilisateurs influencent-ils les émissions de polluants ?

**F. P. :** Les utilisateurs participent de façon directe mais inconsciente à la qualité de l'air. Une étude montre qu'il existe une sorte de bois idéal : il s'agit d'un bois sec, fendu et écorcé ; qui limite les émissions. Une idée serait que de faciliter l'accès des utilisateurs à ce « bois prêt à l'emploi » grâce à des mises à disposition dans les communes. L'utilisateur peut également agir en jouant sur le couple allumage-tirage et aussi - j'insiste sur ce point - en utilisant du bois sec (l'humidité restant le facteur majeur d'émissions). Enfin, une étude de l'ADEME de juin 2018 montre que les utilisateurs allument leur foyer par le bas alors que, idéalement, il faudrait l'allumer par le haut. Nous avons donc un gros travail de pédagogie à mener sur ce sujet...

### Outre l'humidité, quels facteurs influencent les émissions du chauffage au bois domestique ?

**S. C. :** L'influence des paramètres de fonctionnement sur les émissions polluantes des appareils a fait l'objet d'une étude bibliographique récente incluant une quinzaine de travaux, dont ceux de l'INERIS. En dehors de l'humidité et de l'essence

de bois, les principaux facteurs sont l'allure réduite de combustion, la présence d'écorce ou encore l'utilisation d'appareils vieillissants qui majorent les émissions de particules. On sait également que cumuler deux de ces paramètres (faire brûler un bois humide avec écorce, par exemple) entraîne plus de pollution que chaque paramètre pris individuellement. L'utilisateur a donc un rôle important à jouer en évitant le cumul de paramètres problématiques.

### Quels sont les besoins de recherche identifiés ?

**F. P. :** Nous avons besoin d'avoir plus de connaissances sur les conséquences du vieillissement des appareils (quelles sont leurs émissions en début d'utilisation ? Et après plusieurs années ?), mais aussi sur les émissions de combustibles autres

*« En dehors de l'humidité et de l'essence de bois, l'allure réduite de combustion, la présence d'écorce ou encore l'utilisation d'appareils vieillissants majorent les émissions de particules. »*

que le bois (comme le granulé ou les briquettes reconstituées, ou encore celles des appareils qui utilisent du pétrole ou du gaz). Les besoins de recherche portent également sur la métrologie : à ce jour, il n'existe aucun consensus européen sur la façon de mesurer les particules émises par le chauffage domestique et sur le paramètre à mesurer. Il faut travailler aussi sur une classe de polluants bien particuliers, les COV, dont la mesure de manière fiable et répétable, dans les émissions des appareils à bûches notamment, est délicate. Or ce paramètre devra respecter un seuil assez ambitieux dans la directive Ecodesign applicable en 2022 ! Outre l'amélioration des connaissances, l'ADEME aide financièrement tous les projets qui contribuent à améliorer la qualité du combustible et les performances des appareils. Je rejoins donc Serge Collet : le champ d'exploration sur ce sujet est encore très large !



> [florence.proharam@ademe.fr](mailto:florence.proharam@ademe.fr)

## APPEL À PROJETS

### QUALITÉ DE L'AIR CORTEA 2018

La nouvelle édition de l'appel à projets de R&D « Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Émissions dans l'Air » (CORTEA), est ouverte jusqu'au 15 octobre 2018.

Objectif : faire émerger des projets orientés vers l'amélioration de la qualité de l'air intérieur et extérieur, en cohérence avec les actions de l'ADEME dans ses domaines d'intervention :

- en améliorant les connaissances des facteurs d'émissions et des caractéristiques des composés émis, ainsi que leur évolution dans le champ proche de la source ;
- en développant des solutions de réductions des émissions de polluants et de leurs précurseurs (prévention, substitution, traitement) et des méthodes de mesure.

Les principaux polluants visés sont les suivants : les particules fines, les NO<sub>x</sub>, l'O<sub>3</sub>, les COV et l'ammoniac.

**Pour en savoir plus :**  
<https://appelsaprojets.ademe.fr/aap/CORTEA2018-65>

## PUBLICATION

### APPELS À PROJETS DE RECHERCHE DE L'ADEME : LES PROJETS RETENUS EN 2017

Ce recueil présente les projets de recherche sélectionnés au cours de l'année 2017 à travers les différents appels à projets de recherche de l'ADEME. Les recherches financées par l'Agence visent toutes la préservation de l'environnement et de ses ressources ou la lutte contre le changement climatique. Différentes disciplines sont ainsi mobilisées pour améliorer la compréhension d'enjeux complexes, faciliter la prise de décision ou qualifier des signaux faibles pour proposer des recommandations. 135 projets ont été sélectionnés en 2017, ainsi que 50 thèses.

<https://www.ademe.fr/appels-a-projets-recherche-lademe-projets-retenus-2017>