



La transition énergétique  
en actions

P. 1

**ACTUALITÉ**

Sols : de la caractérisation des pollutions à la contribution au climat

P. 3

**RÉSULTATS  
SIGNIFICATIFS**

Flux de gaz à effet de serre dans les sols et changement climatique

P. 5

**RENCONTRE AVEC...**

Jean-François Soussana et Isabelle Feix : « Stocker davantage de carbone dans les sols pour limiter le réchauffement climatique »



**ÉDITORIAL**

**JOELLE KERGREIS**  
DIRECTRICE EXÉCUTIVE ADJOINTE  
DIRECTION EXÉCUTIVE DES PROGRAMMES

2015 est l'année internationale des sols, elle sera l'occasion de partager les travaux menés pour mesurer leurs multiples contributions aux productions agricoles, forestières et énergétiques et aux politiques foncières et d'aménagement. Les travaux de recherche pilotés par l'ADEME ont progressivement évolué de la caractérisation des pollutions à une meilleure compréhension des mécanismes complexes comme les liens entre les sols et le changement climatique. Les résultats des recherches présentés portent sur l'évaluation des stocks de carbone, leur vulnérabilité aux modifications climatiques, l'impact du changement d'affectation des sols... Cette lettre, second volet du triptyque des lettres recherche consacrées à l'accompagnement de la COP21, sera suivie d'une journée technique qui permettra d'identifier le rôle de chaque acteur dans la gestion des sols (collectivités, État, entreprises, parcs naturels...). Rendez-vous donc le 17 novembre 2015 à Paris pour échanger sur « comment connaître et gérer au mieux les ressources sols ».

**ACTUALITÉ**

**SOLS : DE LA  
CARACTÉRISATION  
DES POLLUTIONS  
À LA CONTRIBUTION  
AU CLIMAT**

*Les recherches soutenues par l'ADEME sur les sols agricoles et forestiers ont successivement porté sur l'évaluation des pollutions diffuses, l'appui à la surveillance puis les liens entre sols et changement climatique.*

**CARACTÉRISATION DES SOLS**

Dans les années 1990, les priorités de recherche sur les sols agricoles et forestiers\* ont porté sur la prévention de la pollution des



sols et la caractérisation des impacts liés aux épandages de déchets, ce qui coïncidait avec la mise en place des réglementations nationales et européennes sur le recyclage des déchets et composts en agriculture. Ainsi, l'ADEME a soutenu de nombreux travaux de recherche sur les méthodes physico-chimiques et écotoxicologiques de caractérisation des produits résiduels épandus et sur l'évaluation des effets des épandages sur la qualité des sols et des milieux (ex. : transfert des contaminants vers l'eau, la chaîne alimentaire, les écosystèmes). Outre de nombreuses publications scientifiques, couvrant des champs disciplinaires très variés, ces travaux ont donné lieu à des guides, référentiels, ouvrages<sup>1</sup> de vulgarisation et normes qui ont permis d'appuyer la réglementation et la réflexion nationale sur l'évaluation des risques sanitaires et pour les écosystèmes.

#### APPUI À LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DES SOLS

Dès le début des années 2000, pour accompagner les travaux européens sur la protection des sols, l'ADEME a contribué avec les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Écologie, l'INRA, l'IRD et l'IGN à la constitution du GIS Sol<sup>2</sup> dont l'objectif est de collecter, organiser et mettre à disposition les données nationales sur les sols. De par ses missions, l'ADEME a tout particulièrement appuyé le développement du Réseau de mesure de la qualité des sols (ou RMQS - voir encadré) visant à qualifier l'état physico-chimique des sols et à détecter précocement d'éventuelles dégradations.

Constatant un manque de méthodes et de données pour quantifier et qualifier la qualité biologique des sols, notamment pour leur surveillance, l'ADEME, en collaboration avec l'ANR et le MEDDE (dans le cadre du programme GESSOL<sup>3</sup>), a lancé à partir de 2004 un appel à projets intitulé « Bio-indicateurs de la qualité des sols<sup>4</sup> ». Pendant 10 ans, plus de 80 chercheurs et doctorants ont ainsi contribué à l'émergence de cette nouvelle approche d'analyse en proposant des protocoles et des référentiels basés sur la microbiologie, la faune et la flore des sols. Parmi les méthodes développées, celles basées sur l'extraction de l'ADN des sols sont parmi les plus prometteuses puisqu'elles permettent, à partir de bases de données internationales, de caractériser rapidement la diversité biologique des micro-organismes des sols (bactéries et champignons) mais à terme également de la faune du sol. Les protocoles ont notamment donné lieu à une norme internationale\*\*.

#### SOLS ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

En 2010, les travaux ont été réorientés sur les liens entre le sol et le changement climatique dans l'objectif de comprendre et caractériser les flux des trois principaux gaz à effet de serre : le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), le méthane (CH<sub>4</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ils permettront à terme d'identifier les stratégies agricoles et forestières contribuant à lutte contre le changement climatique.

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont liées aux processus de transformation de l'azote par les bactéries. Les sources d'émission de CH<sub>4</sub>

sont principalement les zones humides, les marais ou encore les rizières. Quant aux émissions de CO<sub>2</sub>, elles résultent de la dégradation de la matière organique des sols (issue essentiellement de la biomasse végétale).

Si les sols sont des sources de GES, ils constituent également le premier réservoir de carbone de la biosphère : le premier mètre de sol stocke plus de 2000 gigatonnes de carbone organique, ce qui correspond au stock de la biomasse végétale et de l'atmosphère réunies. Pour la France, les travaux du GIS Sol basés sur les données du RMQS ont permis de déterminer que les 30 premiers centimètres des sols de métropole contiennent aujourd'hui plus de 3 milliards de tonnes de carbone. Ces stocks sont très variables selon le type de sol, le climat, l'occupation et la gestion des sols : ils sont par exemple très élevés dans les pelouses d'altitude, les zones humides ou les prairies, mais assez faibles en viticulture, dans les zones méditerranéennes et de cultures intensives.

Les questions de recherche liées au rôle des sols dans le changement climatique ont été intégrées dans l'appel à projets REACC-TIF (REcherche sur l'Atténuation du Changement Climatique par l'agriculture et la Forêt). Il s'agit d'éclairer les opportunités de stockage des sols mais aussi de limiter au maximum les risques de relargage. Depuis 2012, plus de 15 projets ont été soutenus visant à mieux connaître les flux de GES des sols agricoles et forestiers, en lien avec leur gestion.

\* Pour les recherches concernant les sites et sols pollués, se référer à la Lettre Recherche N°6 (mars 2014).

\*\* NF EN ISO 11063, 2013, Qualité du sol - Méthode pour extraire directement l'ADN d'échantillons de sol.

1. [www.ademe.fr/mediatheque/recherche?query=BOUE](http://www.ademe.fr/mediatheque/recherche?query=BOUE)

2. [www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)

3. [www.gessol.fr](http://www.gessol.fr)

4. <https://ecobiosol.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur>

### *Zoom sur...*

#### DIAGNOSTIQUER ET SURVEILLER L'ÉTAT DES SOLS DE FRANCE

Le Réseau de mesures de la qualité des sols (ou RMQS) repose sur le suivi de 2200 sites répartis sur le territoire français (métropole et outre-mer) selon une maille carrée de 16 km de côté. Ces sites rassemblent la plupart des types de sols et considèrent l'ensemble des occupations. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont effectués tous les dix à quinze ans,

permettant de dresser le bilan de l'état des sols : fertilité, contamination, biodiversité, pathogènes (voir le Rapport sur l'état des sols, 2011). La deuxième campagne prévue de 2015 à 2026 évaluera notamment la contribution des sols français à la lutte contre le changement climatique que ce soit dans l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ou l'adaptation des productions végétales.

# FLUX DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LES SOLS ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

*Les travaux de recherche visent à comprendre les flux de GES des sols à différentes échelles pour lutter contre le changement climatique et améliorer les évaluations environnementales.*

Les mécanismes à l'origine des flux de GES des sols sont complexes et dépendent de plusieurs facteurs, dont la nature du sol, le climat et les activités humaines. La présence d'argiles protège par exemple la matière organique de la dégradation ; la température et l'humidité influencent l'activité biologique ; et les modes de cultures, pérennes ou annuelles, les types de rotations, de travail du sol ou de fertilisation ont aussi un impact.

## DES APPROCHES À L'ÉCHELLE DES PARCELLES...

Plusieurs projets soutenus dans le cadre de l'appel à projets de recherche (APR) REACTIF visent à accroître notre connaissance de la dynamique du carbone et de l'azote dans les sols agricoles et forestiers (vitesses de stockage, conditions d'émission des GES, répartition des stocks et des émissions).

Un exemple, le projet AGRIPSOL (AGroforesterie pour la Protection des SOLs), coordonné par AGROOF et support d'une thèse financée par l'ADEME et la Fondation de France, a permis de préciser pour la première fois, dans les conditions nationales, la répartition et la nature des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers, systèmes associant alignements d'arbres et cultures<sup>6</sup>. Ainsi, les prélèvements de sols réalisés sur un site expérimental instrumenté ont mis en évidence que le stock de carbone dans les sols est significativement plus important le long des alignements d'arbres (qui sont toujours enherbés et non labourés). Les analyses de la matière organique dans l'alignement montrent néanmoins sa vulnérabilité au changement climatique : le carbone y est facilement dégradé, ce qui, en cas d'évolution du couple

température/humidité, conduirait à une hausse de l'activité biologique et donc à un relargage de carbone. Ces travaux permettent d'une part de préciser les protocoles d'échantillonnage pour d'autres sites en agroforesterie mais également de consolider les valeurs de stockage pour l'évaluation environnementale des systèmes de culture à l'échelle des parcelles.

Concernant le protoxyde d'azote, citons par exemple le projet SOLGES (Capacité des sols à réduire le gaz à effet de serre  $N_2O$ ), coordonné par l'INRA UR Sols en partenariat avec Arvalis-Institut du végétal et Terre Inovia, qui a mis en évidence un lien entre le pH des sols et les émissions de  $N_2O$ . Plus le sol est acide ( $pH < 6,5$ ) moins il est capable de transformer le  $N_2O$  en  $N_2$  et ainsi de limiter les émissions. Des essais de chaulage





dans les champs, pratique qui augmente le pH, montrent que la capacité de réduction est améliorée et qu'en conséquence les émissions de  $N_2O$  sont moindres. Ce travail a donc mis en évidence une pratique d'atténuation appropriable par les agriculteurs. Il permettra également d'affiner l'estimation des émissions nationales et territoriales en lien avec les outils de connaissances des sols (GIS Sol).



### ... ET DE L'ÉCHELLE TERRITORIALE À L'ÉCHELLE MONDIALE

À une échelle plus large, les tensions sur les surfaces agricoles et forestières liées aux activités humaines (production alimentaire, usages non alimentaires de la biomasse, urbanisation du territoire...) nécessitent de mieux prendre en compte les stocks de carbone des sols dans nos décisions et nos arbitrages. En effet, toute modification d'utilisation des sols (ex. : conversion de prairies en cultures, déforestation, urbanisation) aura des répercussions sur les émissions de gaz à effet de serre des territoires et des filières concernés.

Par exemple, le projet ABCTerre (Atténuation du Bilan gaz à effet de serre agricole intégrant le Carbone du sol sur un TERRitoire), coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires, développe une approche qui combine la connaissance spatiale des sols, des usages, des rotations et des pratiques agricoles dans un modèle d'évolution de la matière organique afin de prédire à moyen terme la dynamique de stockage ou de déstockage du carbone. Cet outil sera utilisé pour optimiser le bilan GES d'un territoire et pourra contribuer à la réalisation de l'objectif du « 4 pour 1 000 » (voir entretien p. 5) ainsi qu'à l'évaluation d'autres services rendus par la matière organique (ex. : limiter l'érosion des sols).

Pour traiter les questions liées aux conséquences des changements d'usage des sols, l'ADEME finance des recherches, initialement démarrées sur les biocarburants de première génération, au sein du GIS Changement d'Affectation des Sols (CAS) afin d'être en mesure de préciser les bilans

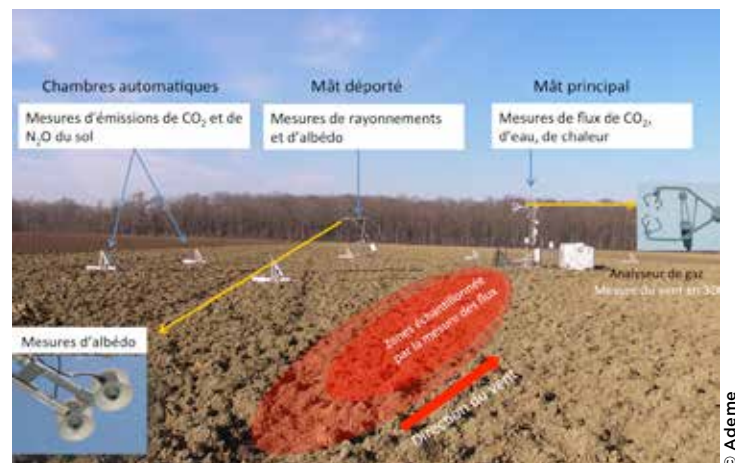
environnementaux et d'identifier des voies d'amélioration de différentes politiques d'usage des sols, comme le développement de l'élevage ou encore l'urbanisation des terres agricoles.

Si les travaux de recherche financés sur les sols concernent bien évidemment l'acquisition de connaissances à différentes échelles (parcelles, territoires, monde), ils sont ensuite utilisés en appui aux politiques publiques (ex. : accompagnement des positions nationales sur les biocarburants) puis traduits dans des guides, des normes, des outils ou des fiches (ex. : les fiches agriculture<sup>7</sup> ) et en outils de communication (ex. : la brochure carbone<sup>8</sup> )

6. [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115300021](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115300021)

7. <http://www.ademe.fr/references-agriculture-environnement-pratiques-clefs-preservation-climat-sols-lair-economies-energie>

8. <http://www.ademe.fr/carbone-organique-sols-lenergie-lagro-ecologie-solution-climat>



> Site expérimental de Lamasquère du CESBIO (ferme de Lamothe de l'école d'ingénieurs de Purpan), en fonction depuis 2005 : présentation des instruments de mesure.

### aller + loin

#### La gestion de l'albédo des parcelles agricoles : un nouveau levier pour lutter contre le changement climatique.

Morgan Ferlicq et Éric Ceschia du CESBIO (Centre d'études spatiales de la biosphère ) étudient l'effet des pratiques et des cultures sur l'albédo des parcelles agricoles, c'est-à-dire leur capacité à réfléchir le rayonnement solaire. Accroître l'albédo de la surface terrestre permet de réduire la ré-émission de rayonnement thermique et donc d'atténuer le réchauffement climatique. Leurs travaux montrent qu'on

peut augmenter l'albédo des parcelles en implantant des couverts intermédiaires entre les cultures et en maintenant les pailles en surface après récolte. Cet effet albédo doit maintenant être évalué à des échelles plus larges, via la télédétection et la modélisation, en prenant notamment en compte les conséquences sur les flux d'eau et de chaleur entre parcelles et atmosphère et leurs incidences climatiques.

## RENCONTRE AVEC...

## JEAN-FRANÇOIS SOUSSANA

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE  
ENVIRONNEMENT À L'INSTITUT  
NATIONAL DE LA RECHERCHE  
AGRONOMIQUE (INRA)



## ISABELLE FEIX

EXPERTE NATIONALE  
SOLS À L'ADEME.

## SOL ET CLIMAT

# « STOCKER DAVANTAGE DE CARBONE DANS LES SOLS POUR LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE »

*Le sol est, par nature, un réservoir de carbone considérable. Accroître sa capacité de stockage permettrait d'endiguer l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>, et donc d'atténuer le réchauffement climatique.*

## Les sols sont-ils pris en compte dans les politiques climatiques internationales ?

**Jean-François Soussana :** Au cœur de nombreux enjeux mondiaux (sécurité alimentaire, régulation du climat et de l'eau, préservation de la biodiversité, etc.), la question des sols est abordée dans plusieurs conventions internationales de l'Organisation des Nations unies : la convention sur la lutte contre la désertification, celle sur la diversité biologique ou encore la convention-cadre sur les changements climatiques. Les sols sont donc effectivement pris en considération dans les débats et les politiques climatiques internationales ; néanmoins, ils ne font pas l'objet de négociations dédiées.

## Comment l'ADEME se saisit-elle de cette question ?

**Isabelle Feix :** L'Agence a lancé ou participe à plusieurs programmes de recherche et de surveillance qui traitent plus ou moins spécifiquement du rôle du sol dans l'atténuation du changement climatique. Ainsi, elle est membre du groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol), qui coordonne la cartographie, l'inventaire et la surveillance des sols, l'ADEME cofinçant le Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS), qui réalise, tous les dix ans, un bilan de l'état des sols en France métropolitaine et outre-mer

par la mesure de nombreux paramètres, dont la concentration en carbone. Par ailleurs, l'Agence coordonne le programme-REACTIF (REcherche sur l'Atténuation du Changement Climatique par l'agriculture et la Forêt), qui s'intéresse notamment au rôle des sols agricoles et forestiers dans l'atténuation du changement climatique (une quinzaine de projets de recherche). Enfin, les interactions entre les sols et le changement climatique font l'objet de huit thèses que l'ADEME accompagne dans le cadre de son programme Thèses.

## En quoi le sol constitue-t-il un enjeu majeur dans le changement climatique ?

**J-F. S. :** Le sol est un réservoir de carbone considérable qui stocke actuellement l'équivalent de deux à trois fois la quantité de CO<sub>2</sub> présente dans l'atmosphère. Aujourd'hui, la question qui se pose est

la suivante : « Comment accroître cette capacité de stockage afin de parvenir à la décroissance des émissions de carbone mondiales, et ainsi contenir la hausse des températures sous le seuil de 2 °C, comme le préconise le GIEC dans son dernier rapport ? »

Plusieurs scénarios sont possibles. Il y a bien sûr la réponse technologique, qui consiste à brûler de la biomasse afin de récupérer le CO<sub>2</sub> contenu dans les fumées, à le liquéfier puis à l'enfouir profondément dans la roche. Et puis il y a une réponse de type génie agro-écologique qui consiste à miser sur la capacité du monde vivant à séquestrer le CO<sub>2</sub> atmosphérique grâce à la photosynthèse, dans le but de limiter son augmentation dans l'atmosphère. C'est d'ailleurs tout l'enjeu du programme « 4 pour 1000 », lancé par le ministre français en charge de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt en mars dernier, qui ambitionne d'augmenter les stocks de matière organique des sols de « 4 pour 1000 », chaque année et à l'échelle mondiale (ce qui permettrait en théorie de compenser les émissions anthropiques de gaz à effet de serre de la planète).

**Concrètement, de quels moyens biologiques et écologiques disposons-nous pour stocker davantage de carbone dans les sols ?**

### Bio express

Directeur scientifique Environnement à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), Jean-François Soussana est également membre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

**J.-F. S. :** Nous disposons de deux leviers d'action : augmenter les entrées de carbone organique dans les sols, principalement en augmentant la productivité primaire des végétaux (en évitant par exemple toute interruption de culture et donc la mise à nu du sol au cours de l'année) et éviter la perte, principalement par minéralisation, de carbone organique des sols (en optimisant par exemple les modes de travail du sol). En forêt, nous serons appelés à jouer principalement sur l'augmentation de la productivité primaire en restaurant les espaces dégradés.

### Au-delà du captage de carbone, quels autres services le sol rend-il à l'homme dans le domaine climatique ?

**I.F. :** En ville, le changement climatique augmentera la fréquence et l'intensité des inondations et des vagues de chaleur estivales.

Le sol aide les villes

à s'adapter au changement climatique d'au moins deux façons. En jouant le rôle d'« éponge » dans les zones urbanisées et en amont de ces zones, il permet de

limiter les inondations. Par ailleurs, le sol et la végétation des villes participent au rafraîchissement urbain grâce à l'évapotranspiration, participant ainsi à la limitation des émissions de gaz à effet de serre liées à la climatisation des bâtiments. Enfin, grâce à sa capacité à stocker l'eau et à la restituer aux plantes, le sol participe à l'adaptation des secteurs forestiers et agricoles aux sécheresses, qui risquent d'augmenter avec le changement climatique.

### Désormais, on quantifie l'impact des sols dans les bilans environnementaux ; pourquoi ?

**I.F. :** Le bilan environnemental d'un produit ou d'une filière de production a pour objectif d'évaluer l'ensemble des impacts environnementaux, dont le bilan gaz à effet de serre, selon une logique de cycle de vie. Oublier les sols dans les bilans GES peut amener à des décisions erronées. Prenons

l'exemple des biocarburants : la prise en compte récente des émissions de GES liées aux changements d'affectation des sols a nettement dégradé leur bilan GES car elles sont du même ordre de grandeur que les émissions de GES évités grâce à la substitution de carburant fossile. L'ADEME a donc souhaité améliorer l'évaluation de l'ampleur et de l'évolution des changements d'usage des sols directs et indirects afin d'en analyser les impacts en termes d'émissions de GES notamment. Dans cette perspective, elle s'est alliée à l'INRA, aux ministères en charge de l'Écologie et de l'Agriculture et à France AgriMer pour créer le groupement d'intérêt scientifique Changement d'affectation des sols (GIS CAS). Progressivement, le GIS CAS a élargi ses travaux et s'intéresse aujourd'hui aux changements d'affectation des sols qui résultent de l'urbanisation, des politiques alimentaires ou de l'extensification

*« Les sols sont pris en considération dans les politiques climatiques, mais ils ne font pas l'objet de négociations dédiées. »*

de l'agriculture. À terme, le bilan de gaz à effet de serre lié au sol sera intégré dans les ACV des produits, des filières ou dans l'évaluation environnementale des politiques d'aménagement, ce qui permettra de guider les acteurs des politiques publiques et les consommateurs dans leurs choix, par exemple à travers l'étiquetage environnemental des produits.

### Vous parliez tout à l'heure de stocker davantage de carbone dans les sols en les restaurant de manière écologique ; cela est-il faisable dans les proportions escomptées ?

**J.-F. S. :** Les références expérimentales en la matière semblent montrer que cette solution est effectivement réalisable. Mieux, elle s'inscrit dans un cercle vertueux à part entière : stocker du carbone dans les sols, c'est y apporter davantage de matières organiques, c'est donc le rendre plus fertile ; le stockage de carbone s'avère donc une alternative prometteuse pour contribuer à réduire l'insécurité alimentaire dans le monde.

## APPELS À PROJET

### INVESTISSEMENTS D'AVENIR 4 NOUVEAUX APPELS À PROJETS TRANSPORTS

Le gouvernement a lancé le 24 juillet 2015 en partenariat avec l'ADEME et le Commissariat général à l'investissement, 4 appels à projets (AAP) dans le cadre du Programme d'Investissements d'avenir et son action Véhicules et transports du futur. Ces AAP ont pour objectif d'accélérer le développement de technologies et d'usages de mobilité terrestre innovants plus efficaces et moins consommateurs en énergies fossiles.

## PUBLICATION

### AGRICULTURE ET POLLUTION DE L'AIR

#### Impacts, contributions, perspectives : État de l'art des connaissances

L'ADEME et le MEDDE publient un état des connaissances et des pistes d'actions pour réduire les impacts croisés entre pollution de l'air et agriculture. Cette publication, élaborée avec l'INRA sur la base du séminaire organisé le 2 juillet 2014 dans le cadre de leur programme de recherche PRIMEQUAL, sera suivie d'un APR au 2<sup>e</sup> semestre 2015.

[www.ademe.fr/113909](http://www.ademe.fr/113909)

## MANIFESTATION

### 20 NOV. 2015 JOURNÉE DE RESTITUTION CORTEA / PARIS

Le 20 novembre 2015 se tiendra à Paris la première journée de restitution des résultats de projets soutenus dans le cadre du programme CORTEA sur la connaissance, la réduction à la source et le traitement des émissions de polluants dans l'air.

[www.ademe.fr/actualites/manifestations/1ere-journee-restitution-cortea-emissions-polluants-lair](http://www.ademe.fr/actualites/manifestations/1ere-journee-restitution-cortea-emissions-polluants-lair)