

# Le carbone suie, forceur climatique à courte durée de vie

## Black carbon, a short lived climate forcer

M. TUDDENHAM<sup>(1)</sup>, I. ROUSSEL<sup>(2)</sup>

### Résumé

Le carbone suie, indicateur des effets sanitaires de la pollution urbaine, est au cœur même de la problématique de l'adaptation puisque les effets bénéfiques de la maîtrise de ces particules se font sentir à l'échelle des phénomènes climatiques comme à celle de la qualité de l'air. Cet élément interroge plusieurs notions dont il convient de redonner les définitions. Il remet la politique de la ville au croisement des enjeux liés au climat, à la pollution atmosphérique, à la santé des habitants et au développement durable. Le CITEPA nous livre la veille bibliographique que Mark Tuddenham a effectué sur le sujet du carbone suie et, plus largement, sur les SLFC (*Short Life Climate Forcers*).

### Mots-clés

Carbone suie, SLFC, particules, pollution urbaine, changement climatique.

### Abstract

Black carbon, an indicator of urban pollution health effects, is at the heart of adaptation issues as benefits of its control can be felt both at the scale of climate phenomenon and air quality. This element has to do with several notions whose definitions need to be stated again. It sets urban policies at the crossing of climate, air pollution, population health and sustainable development stakes. The CITEPA has made available Mark Tuddenham's literature monitoring concerning black carbon, and, more widely, SLFC (Short lived climate forcers).

### Keywords

Black carbon, Particulate Matter, SLFC, urban pollution, climate change.

Le carbone suie (en anglais *black carbon*), comme le monoxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote, les composés organiques volatils et les particules, intervient dans l'effet de serre. Ces éléments, appelés SLFC (*Short Lived Climate Forcers*), ont une durée de vie courte en comparaison du dioxyde de carbone, mais aussi du méthane, ce dernier présentant une durée de vie plus brève que le CO<sub>2</sub> puisqu'estimée à une douzaine d'années (cf. tableau ci-dessous).

### Les SLFC

Le poids relatif du forçage radiatif des différents gaz à effet de serre (GES) dépend de l'échelle de temps adoptée puisque la durée de vie des différents gaz est variable. À court terme (20 ans), l'influence relative des GES classiques est plus faible, les aérosols et les gaz à courte durée de vie jouent alors un rôle non négligeable.

Substance	Durée de vie	Remarque
CO <sub>2</sub>	Varie de quelques décennies à plusieurs siècles	Il n'est pas possible de définir une durée de vie unique du fait des différents taux d'absorption selon le processus de stockage.
CH <sub>4</sub>	12 ans	
O <sub>3</sub>	4-18 jours	
Carbone suie	3-8 jours	La durée de vie moyenne dans l'atmosphère varie selon les régions et les saisons. Le BC peut également continuer à réchauffer l'atmosphère après avoir été déposé sur la neige et la glace.

(1) Responsable de la veille scientifique au CITEPA.

(2) Professeure émérite à l'université de Lille 1, vice-présidente de l'APPA.

### Le carbone suie

Présent dans l'atmosphère, le carbone suie (*black carbon* ou BC) est une composante importante des particules. Il est issu de la combustion incomplète des combustibles fossiles et de la biomasse. Les principales sources d'émission sont le trafic routier, les poêles à bois et les feux de forêt. Le carbone suie a des impacts significatifs sur la santé humaine et sur le climat. Il est classé comme forcéur climatique à courte durée de vie (SLCF) dans la mesure où il agit sur le climat en réchauffant l'atmosphère, en interceptant et en absorbant les rayons solaires. Par ailleurs, lors de leurs dépôts terrestres, les particules de carbone suie noircissent la neige ou la glace, abaissant ainsi l'albédo ; elles participent au réchauffement global. Elles ont aussi un impact sur la formation des nuages en augmentant le nombre des noyaux de condensation.

Le carbone suie est considéré comme un « transporteur » (*carrier*) universel d'une grande variété de composants toxiques. Les études récentes suggèrent une association entre le carbone suie et des effets sanitaires suite à une exposition à court et long terme (mortalité et morbidité cardio-vasculaire, notamment). Une revue réalisée par l'OMS sur les effets sanitaires associés au carbone suie<sup>(3)</sup> indique que l'estimation des effets, à partir des études épidémiologiques à court et long terme, est plus importante avec le carbone suie qu'avec les particules lorsqu'elles sont mesurées en masse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Selon les études toxicologiques, le carbone suie ne serait pas un élément majeur et directement toxique des particules (Sources : PNUE/OMM, OMS).

### Forçage climatique – forçage radiatif : définition

Le forçage radiatif (appelé parfois forçage climatique) est une mesure d'un déséquilibre du bilan énergétique du système Terre-atmosphère (exprimé en watts par mètre carré ou  $\text{W}/\text{m}^2$ ) à la suite, par exemple, d'une modification des concentrations atmosphériques de  $\text{CO}_2$  ou d'une variation du flux solaire. Il constitue donc un indice de l'importance de ce déséquilibre en tant que mécanisme potentiel du changement climatique. Le système climatique réagit au forçage radiatif de façon à rétablir l'équilibre énergétique. Un forçage radiatif positif a tendance à réchauffer la surface du globe tandis qu'un forçage radiatif négatif a tendance à la refroidir (Source : GIEC, 1997 et 2007).

Le calcul du pouvoir de réchauffement global permet de comparer le poids relatif des différents GES.

Les SLFC sont aussi des polluants de l'atmosphère ayant un impact négatif sur la santé. Compte tenu de leur double action à la fois sur la santé actuelle des populations et sur l'effet de serre, ces gaz et particules ont retenu l'attention des gestionnaires puisque leur maîtrise offrait un double bénéfice. Le carbone suie est en particulier considéré comme un indicateur pertinent de la pollution urbaine dont les enjeux à court terme permettent de capter

l'attention des décideurs en montrant que la maîtrise du changement climatique n'est pas uniquement liée à la transition énergétique, qui s'opère sur le long terme. Les effets sanitaires immédiats de la réduction des émissions urbaines du carbone suie mettent en évidence la nécessité d'une action rapide. La logique économique de l'actualisation prend tout son sens avec les retombées sanitaires immédiates de la maîtrise du carbone suie. Les efforts pour limiter la combustion des énergies fossiles et pour construire une ville sans carbone relèvent à la fois de l'atténuation et de l'adaptation puisque les deux stratégies se confor-

### Pouvoir de réchauffement global : définition

Pour pouvoir comparer les effets sur le climat des émissions des divers GES entre eux, le GIEC a mis au point un indice, le pouvoir de réchauffement global (PRG). C'est le forçage radiatif cumulé entre le moment présent et un horizon de temps donné (en général 20, 100 ou 500 ans) induit par une quantité de gaz émise au moment présent, exprimé par rapport à un gaz de référence, en l'occurrence le  $\text{CO}_2$ .

Le PRG vise à mesurer la part relative, dans les effets radiatifs, des différents GES. Par construction, le PRG du  $\text{CO}_2$  est donc 1. Les valeurs de PRG utilisées aujourd'hui dans le cadre des inventaires nationaux d'émission de GES sont encore celles définies dans le 2<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC (1995). C'est ainsi que le PRG était estimé à 21 tandis que dans le rapport du GIEC de 2007 sa valeur est de 25. De même, celui du protoxyde d'azote est estimé à 298, alors que le rapport de 2007 l'estime à 310. (Source : CITEPA/GIEC, 1995).

(3) Cf. OMS. « Impact sanitaire du carbone noir » : <http://www.euro.who.int/fr/what-we-publish/abstracts/health-effects-of-black-carbon>

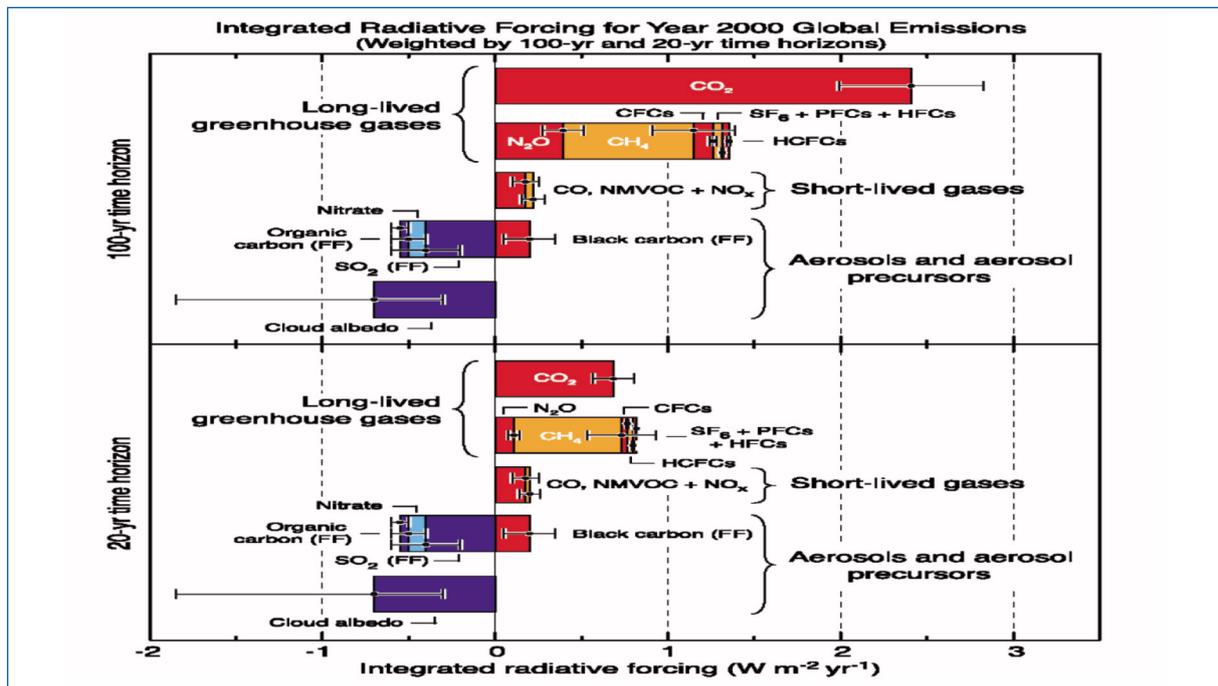


Figure 1.

Le poids relatif des facteurs influençant l'effet de serre selon l'échelle de temps considérée  
 Share of factors influencing the greenhouse effect according to the timescale considered.

tent l'une l'autre. Cette synergie permet de prendre des mesures fortes et coûteuses compte tenu de ce que le « retour sur investissement » est immédiat.

L'image de la ville sans carbone ne relève pas du rêve pour les générations futures ni de l'utopie, mais d'une réalité immédiate qui s'impose aux urbanistes, aux élus locaux et aux habitants. La réduction des émissions carbonées contribue à l'atténuation du changement climatique mais elle ne se décrète pas, elle est le fruit du lent travail de l'adaptation de la ville au monde de demain. Le processus d'urbanisation galopante, observé actuellement à l'échelle mondiale, risque de contribuer à l'augmentation des émissions de GES si la ville ne s'adapte pas à une mutation énergétique soutenue par une connectivité démultipliée. Au sein du creuset urbain en pleine mutation, atténuation et adaptation se rejoignent et s'interpénètrent. L'importance accordée au carbone suie, indicateur de la pollution urbaine, résulte de ce double enjeu aux horizons temporels différents qui, loin de s'occulter l'un l'autre, se combinent. La ville décarbonée de demain sera également plus saine ; en maîtrisant les émissions de carbone, les habitants gagnent en autonomie et s'affranchissent de la dépendance de décisions exogènes, sources de vulnérabilité. Dans cette perspective, l'étude intitulée « Atténuer simultanément le changement climatique à court terme et améliorer la santé humaine et la sécurité alimentaire », réalisée sous la direction de D. Shindell (2012) revêt une forte importance. En présentant quatorze mesures possibles, ces chercheurs montrent tout le bénéfice qui pourrait résulter de leur mise en œuvre. M. Tuddenham en a fait une analyse qu'il a eu l'amabilité de nous livrer.

Tout en constituant une problématique relativement récente, les SLFC font l'objet d'importants travaux pour lever les incertitudes scientifiques à leur sujet et apporter un éclairage sur les politiques à élaborer puisqu'il paraît politiquement plus abordable d'agir sur des pas de temps courts. En effet, imposer des contraintes fortes pour un bénéfice très décalé dans le temps et donc difficile à quantifier est plus aléatoire que d'encourager la population à mettre en avant un bénéfice sanitaire. Le CITEPA a réalisé un gros travail de recensement sur **l'état des lieux des travaux sur les SLFC** (recherches et études) et **des réponses à apporter** pour réduire leurs émissions (initiatives, démarches ou dialogues politiques mis en place et options de réduction des émissions envisagées ou préconisées). La veille scientifique effectuée par Mark Tuddenham permet de souligner l'ampleur des travaux effectués sur les SLFC dont l'importance a été mise en évidence, dans ce numéro, par l'article d'A. Colette. Cette focalisation sur ces GES et spécialement sur le carbone suie se trouve précisément au cœur de la relation entre l'adaptation au changement climatique et la qualité de l'air, thème de ce numéro spécial.

Le numéro spécial de la revue paru en novembre 2012 consacré aux Assises nationales de la qualité de l'air sur le thème « Pollutions par les particules, impacts sur la santé, l'air et le climat », complété par les contributions du numéro 217, avait pour objet de présenter un état de l'art des enjeux et des études liés aux particules en raison du double rôle qu'elles jouent à la fois dans le cadre de la maîtrise du changement climatique et dans celui de la prévention de la pollution atmosphérique, les dommages sanitaires qu'elles

provoquent n'étant plus à démontrer. Toutes les études effectuées sur la caractérisation des particules, leur mesure et les actions possibles pour réduire leurs émissions sont donc essentielles pour avancer sur la voie du développement durable. L'agriculture, les transports, la production énergétique sont des secteurs clés de la vie moderne mais aussi des sources de particules difficiles à maîtriser tant leur réduction va à l'encontre de pratiques culturelles aussi fortement ancrées que la convivialité autour d'un feu dans la cheminée ou l'usage d'une voiture diesel ! La réduction des particules présente un bénéfice immédiat, ce qui permet de valoriser les mesures mises en œuvre pour les réduire sans faire référence au principe éthique de la solidarité intergénérationnelle !

### Synthèse par Mark Tuddenham de l'étude "Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security"<sup>(4)</sup>

Cette étude menée sous la direction de Drew Shindell du Goddard Institute of Space Studies (GISS) de l'Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace (NASA, États-Unis), réunit des chercheurs de plusieurs organismes de renommée internationale<sup>(5)</sup>.

#### Contexte, objet et méthodologie

Les connaissances scientifiques disponibles au moment de l'étude concernant les effets des émissions du carbone suie et des précurseurs d'ozone sur le climat étaient insuffisantes pour fournir des réponses aux nombreuses questions quant aux politiques à mettre en œuvre concernant ces polluants. En effet, les émissions des précurseurs d'ozone ont des effets multiples (réchauffement/refroidissement) alors que le carbone suie, forçeur climatique, est émis avec d'autres particules qui provoquent un refroidissement. Ceci rend incertain le bilan net de l'impact des émissions de ces polluants sur le climat. Ces informations sont pourtant nécessaires car plusieurs instances internationales, dont le G8 (sommet de L'Aquila, Italie, 8-10 juillet 2009) et le Conseil de l'Arctique cherchent à atténuer le changement climatique par la réduction des émissions des agents de forçage radiatif hors CO<sub>2</sub> (comme le carbone suie).

Les chercheurs ont d'abord examiné environ 400 mesures de lutte contre la pollution à l'aide du modèle d'évaluation intégrée GAINS de l'IIASA. Les potentiels de réduction des émissions de particules et de gaz polluants à travers le monde ont été estimés sur

- "Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security", Drew Shindell *et al.*, Science, 13 January 2012 ; 335 (6065) : p. 183-9.
- [www.sciencemag.org/content/suppl/2012/01/12/335.6065.183.DC1.html](http://www.sciencemag.org/content/suppl/2012/01/12/335.6065.183.DC1.html) (méthodologie, tableaux, schémas, références, etc.).

la base des données disponibles quant à l'efficacité de réduction de telles mesures déjà mises en œuvre. L'impact d'une application intégrale des mesures d'ici 2030 a ensuite été examiné.

#### Quatorze mesures sélectionnées pour réduire le méthane et le carbone suie

L'impact potentiel de ces gaz sur le climat a été évalué en utilisant les valeurs du pouvoir de réchauffement global (PRG) du 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation (2007) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour chaque polluant visé. Les chercheurs sont partis de l'hypothèse que toutes les mesures de réduction de la pollution atmosphérique améliorent la qualité de l'air. Ils ont ensuite sélectionné les mesures, qui, à la fois, atténuent le réchauffement climatique et améliorent la qualité de l'air, en les classant selon leur impact sur le climat. Cet exercice a révélé que **les 14 premières mesures retenues pourraient réaliser presque 90 % de la réduction maximale, en PRG net.**

Sept de ces quatorze mesures de réduction visent les émissions de méthane, classées par secteur et provenant des sources suivantes : extraction de charbon, production de pétrole et de gaz, transport de gaz sur de longues distances, déchets municipaux provenant de sites de stockage, traitement des eaux usées, déjections animales et rizières.

Les sept autres mesures visent les **émissions de carbone suie liées à des combustions incomplètes**, regroupées en deux ensembles :

- *mesures techniques* (mesures **BCTech**) : véhicules diesel, poêles à biomasse à combustion propre, fours à brique et à coke, etc. ;
- *mesures réglementaires de base* (mesures **BCReg**) y compris l'interdiction de brûlage des déchets agricoles, la mise hors circulation des véhicules hautement émetteurs et le recours aux appareils de chauffage et de cuisson modernes.

D'autres mesures que celles identifiées pourraient être mises en œuvre. Par exemple, un commutateur de véhicules électriques pourrait avoir un impact semblable à celui des filtres à particules diesel, mais ceux-ci n'ont pas encore été largement déployés. Le

(4) Synthèse également accessible à l'adresse : [http://www.citepa.org/images/II\\_citepa/CDL/2012/cdl155\\_vf.pdf](http://www.citepa.org/images/II_citepa/CDL/2012/cdl155_vf.pdf)

(5) Centre Commun de Recherche (CCR/JRC) de la Commission européenne, Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliqués (IIASA), Institut de Stockholm sur l'Environnement (SEI), Agence américaine pour la Protection de l'Environnement (EPA), l'Institut Scripps d'Océanographie (université de Californie), Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), etc.

Mesures sectorielles	Secteurs
Dégazage avant l'exploitation des mines de charbon, puis récupération et oxydation du CH <sub>4</sub> de l'air de ventilation des mines	<i>Extraction and transport of fossil fuels</i> Extraction et transport des combustibles fossiles
Récupération intensive et utilisation, plutôt que ventilation des gaz, et meilleur contrôle des émissions involontaires lors de la production de pétrole et de gaz naturel	
Réduction des pertes de gaz dans les pipelines ; recyclage, compostage et digestion anaérobie	
Séparation et traitement des déchets municipaux biodégradables et recyclage pour la combustion ou autre utilisation	Traitement des déchets
Mise à niveau du traitement primaire des eaux usées à un traitement secondaire/tertiaire avec récupération des gaz et contrôle des débordements	
Contrôle des émissions de CH <sub>4</sub> provenant de l'élevage, principalement grâce la digestion anaérobie, au niveau de la ferme, du fumier de bovins et de porcs	Agriculture
Aération intermittente des rizières inondées en permanence	
<b>Mesures techniques affectant le carbone suie et autres composés co-émis (mesures BCTech)</b>	
Filtres à particules diesel pour tous les véhicules dans le cadre de l'adoption à l'échelle mondiale des normes Euro 6/VI	Transport
Introduction de poêles de biomasse à combustion propre pour la cuisson et le chauffage dans les pays en développement	Résidentiel
Remplacement des briqueteries traditionnelles avec arbre vertical et fours Hoffman	Industrie
Remplacement des fours à coke traditionnels par des fours de récupération modernes, y compris amélioration des mesures de réduction des émissions de fin de chaîne dans les pays en développement	
<b>Mesures réglementaires affectant le carbone suie et autres composés co-émis (mesures BCReg)</b>	
Élimination des véhicules à fortes émissions	Transport
Interdiction des feux à ciel ouvert des déchets agricoles	Agriculture
Remplacement des réchauds traditionnels de biomasse dans les pays en développement par des foyers à combustion propre qui utilisent des combustibles modernes (GPL ou biogaz)	Résidentiel

Tableau 1.

Les quatorze mesures identifiées comme ayant un fort potentiel de réduction des émissions de méthane et de carbone suie (BC) concomitantes à l'atténuation du changement climatique et à l'amélioration de la qualité de l'air.

*The 14 measures identified as having a high CH<sub>4</sub> and black carbon emissions reduction potential for simultaneously mitigating climate change and improving air quality.*

contrôle des feux de forêt pourrait être très efficace, mais il est difficile d'évaluer quelle est la proportion d'incendies d'origine anthropique.

**Cette étude présente également des scénarios de projections d'émissions** afin d'évaluer les effets des mesures de réduction des émissions par rapport à un scénario de référence. Au total, **cinq scénarios** ont été construits :

- **scénario de référence** basé sur les projections de l'Agence Internationale de l'Énergie ou AIE (pour la consommation d'énergie), sur toutes les projections actuelles sur l'évolution du cheptel mondial et intégrant toutes les politiques et mesures de réduction des émissions adoptées à ce jour ;
- **scénario avec les mesures concernant le méthane** ;

- **scénarios avec les mesures concernant le méthane et le carbone suie (méthane et BCTech, Méthane et BCTech + BCReg) ;**
- **scénario avec des mesures concernant le dioxyde de carbone** : les émissions de CO<sub>2</sub> suivent l'évolution projetée dans le scénario 450 ppm CO<sub>2</sub> de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) (*World Energy Outlook, 2009*) ;
- **scénario combinant toutes les mesures prises dans les trois précédents.**

Tout comme le carbone suie, l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>) sont des forceurs climatiques à courte durée de vie (SLCF).

Quant aux HFC, puissants gaz à effet de serre, ils n'ont pas d'impact sur la qualité de l'air, mais certaines espèces sont des SLCF, notamment le HFC-

134a, principal HFC émis, et le HFC-1234yf. À noter que les HFC à très courte durée de vie (allant de quelques jours à quelques semaines) ont un faible PRG. Par exemple, la durée de vie atmosphérique du HFC-1234yf est d'environ 10 jours et son PRG sur 100 ans est estimé à 4. Inversement, les HFC ayant une durée de vie de plusieurs années ont un PRG élevé (respectivement 14 ans et 1 370 pour le HFC-134a).

Sur la base de deux modèles de représentation du climat, les chercheurs ont évalué les impacts de ces projections d'émissions sur les concentrations atmosphériques futures et sur le forçage radiatif. Puis ils ont estimé les effets de ce forçage radiatif sur les températures moyennes mondiales et régionales.

Au-delà de l'évaluation intégrée menée sur le carbone suie et l'ozone troposphérique, réalisée par le PNUE (cf. ci-dessous), les chercheurs de l'équipe de Drew Shindell présentent également des analyses coûts-bénéfices détaillées.

## Les résultats

### *Impacts sur le climat, la santé et l'agriculture*

L'étude a montré que les 14 mesures retenues réduisent sensiblement la hausse des températures moyennes mondiales au cours des prochaines décennies, en diminuant les niveaux d'ozone troposphérique, de méthane et de carbone suie. La courte durée de vie dans l'atmosphère de ces trois polluants (voir encadré ci-contre) permet une réponse climatique rapide aux réductions d'émissions. Par contre, la durée de vie atmosphérique du CO<sub>2</sub> étant beaucoup plus longue, ses émissions, dont la tendance générale est à la hausse, auront un impact sur le climat pendant des siècles. Il ressort que les réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> analysées dans le cadre de cette étude n'auront qu'un très faible impact sur les températures jusqu'en 2040.

Le scénario « mesures de réduction combinées CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + BC » permettrait de limiter la hausse des températures moyennes mondiales à moins de 2 °C pendant les 60 prochaines années. Aucun des autres scénarios ne permet à lui seul d'y parvenir. L'étude montre que la mise en œuvre intégrale du scénario concernant les mesures CH<sub>4</sub> + BC permettrait, à lui seul, de réduire de 0,5 °C la hausse des températures moyennes mondiales d'ici 2050. Par ailleurs, les chercheurs ont comparé les effets glo-

baux des trois séries de mesures sur le climat, l'agriculture et la santé (tableau 2).

Ces résultats montrent que les mesures sur le méthane, à elles seules, contribuent pour plus de la moitié à l'atténuation du réchauffement estimé dans le cadre du scénario mesures CH<sub>4</sub> + BC (avec une faible incertitude). Par rapport aux mesures BC Reg, les mesures BC Tech ont un impact d'atténuation plus fort sur le climat (avec une incertitude nettement plus faible). Ceci s'explique par le fait que les aérosols contribuent pour une part plus importante au forçage total dans le cas des mesures BC Reg.

Concernant les **pertes évitées de production** des quatre grandes cultures (blé, riz, maïs, soja), les valeurs moyennes pour les mesures CH<sub>4</sub> et BC Tech sont comparables dans leur impact positif, alors que les mesures BC Reg ont un impact minime, voire légèrement négatif. Au total, l'application des quatorze mesures permettrait d'accroître la production des cultures de 30 à 135 Mt par an en 2030 grâce à une réduction des concentrations d'O<sub>3</sub>.

Les bénéfices pour la **santé** des mesures concernant le carbone suie sont sensiblement plus importants que ceux liés aux mesures CH<sub>4</sub>. En effet, la santé est plus sensible à une exposition réduite aux PM<sub>2,5</sub> qu'à l'ozone troposphérique. Les fourchettes étendues indiquées pour les impacts sanitaires sont dues aux fortes incertitudes. Au total, les chercheurs estiment que la mise en œuvre intégrale des 14 mesures retenues permettrait d'éviter en 2030 entre 0,7 et 4,7 millions de morts prématurés par an.

### *Impacts des polluants étudiés et cas spécifique du méthane*

Le carbone suie et l'ozone troposphérique ont des impacts sur le climat et la santé. En outre, l'ozone troposphérique endommage les récoltes, ainsi que la structure et la fonction des forêts et des autres écosystèmes, en réduisant leur capacité à capter le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, ce qui a un impact sur leur croissance. Quant au méthane, puissant gaz à effet de serre (PRG sur 100 ans de 25 [GIEC, 2007]), il est un des principaux polluants primaires, dits précurseurs, d'ozone troposphérique (avec les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils non méthaniques, COVNM). À ce titre, il contribue donc à la pollution de l'air et à la dégradation de la qualité de l'air au niveau local.

Impacts physiques	Mesures CH <sub>4</sub>	Mesures BC Tech	Mesures BC Reg
Réchauffement évité en 2050 (°C)	0,18 à 0,38	0,03 à 0,18	- 0,02 à 0,11
Pertes évitées de production des cultures/an (Mt) <sup>(a)</sup>	7 à 69	3 à 96	- 1 à 15
Morts prématurés évités/an (milliers)	13 à 87	532 à 3 249	179 à 1 258

(a) : somme des pertes de production mondiale/an de blé, de riz, de maïs et de soja.

Tableau 2.

Impacts globaux des 14 mesures retenues sur le climat, l'agriculture et la santé humaine (horizon 2030 et au-delà).  
[Global impacts of the 14 measures on climate, agriculture and human health \(in 2030 and beyond\).](#)

L'équipe de Drew Shindell souligne que les résultats obtenus montrent clairement que seule une faible part des mesures d'amélioration de la qualité de l'air a un effet significatif sur l'atténuation du réchauffement climatique. Cependant, les **mesures de réduction des émissions de méthane et de carbone suie** retenues auraient d'importants bénéfices pour le climat aux niveaux mondial et régional, ainsi que pour la santé et l'agriculture :

- les **mesures ayant pour cible le méthane** engendreraient d'importants bénéfices pour l'agriculture et le climat à l'échelle planétaire, mais des bénéfices relativement faibles pour la santé.
- les **mesures ciblant le carbone suie** devraient produire d'importants bénéfices pour le climat au niveau planétaire mais les incertitudes associées sont plus grandes. Ces mesures peuvent engendrer des bénéfices significatifs pour la santé au niveau régional, réduire les perturbations du cycle hydrologique dans certaines régions, ralentir la fonte de la cryosphère (glace de mer, couverture neigeuse saisonnière, glaciers de montagne et calottes glaciaires [source GIEC, 1997]) dans l'Arctique et l'Himalaya, et enfin, améliorer le rendement des cultures au niveau régional.

Les chercheurs soulignent que les mesures « CH<sub>4</sub> + BC » se distinguent des mesures de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, tout en les complétant. Une analyse de la mise en œuvre retardée des mesures « CH<sub>4</sub> + BC » montre que l'application précoce fournit des bénéfices à court terme beaucoup plus importants mais qu'elle n'aurait qu'un faible impact sur les températures moyennes mondiales à long terme. Le niveau maximal de réchauffement (pic) à terme dépend surtout des émissions de CO<sub>2</sub>.

### Coûts et bénéfices

Les chercheurs ont évalué les coûts et bénéfices qui seraient obtenus par l'application des quatorze mesures retenues. Ainsi, selon une estimation prudente, les bénéfices des réductions d'émissions du méthane seraient compris entre 700 et 5 000 \$ US<sup>(6)</sup> par tonne, soit nettement au-dessus des coûts de réduction marginaux typiques (moins de 250 \$ US/tonne).

Une analyse s'appuyant sur des données plus récentes du modèle GAINS montre que les mesures prévues pourraient permettre de réaliser des réductions d'émissions de méthane en 2030 d'environ 110 Mt à des coûts marginaux inférieurs à 1 500 \$ US par tonne. La mise en œuvre de l'ensemble complet des mesures permettrait de réduire les émissions de méthane d'environ 140 Mt. Ceci indique que la plupart des mesures engendreraient des bénéfices plus importants que les coûts de réduction.

Les estimations issues du modèle GAINS montrent qu'une amélioration de l'efficacité énergétique conduirait à une réduction de coûts nets dans le cadre des mesures BC visant les fours à brique dans les pays en développement et les poêles. Ces mesures représentent environ 50 % de l'impact des mesures concernant le carbone suie. Les mesures réglementaires, visant les véhicules fortement émetteurs et l'interdiction du brûlage des déchets agricoles, qui nécessitent surtout une volonté politique plutôt qu'un investissement financier, représentent 25 % supplémentaires de l'impact des mesures BC. De ce fait, la plupart des mesures ayant le carbone suie pour cible pourraient sans doute être mises en œuvre à un coût nettement plus faible que les bénéfices en termes monétaires, et notamment pour la santé (à l'horizon 2030 : 1 154 à 6 953 milliards [Md] de \$ US pour les mesures BC Tech et 410 à 2 900 Md \$ US pour les mesures BC Reg).

Enfin, l'étude examine l'impact des mesures « CH<sub>4</sub> + BC » par secteur et par région.

### Conclusions et perspectives

En conclusion, les chercheurs soulignent notamment que la mise en œuvre de réductions spécifiques pratiques, retenues afin de maximiser les bénéfices pour le climat, auraient d'importants bénéfices « gagnants-gagnants » à court terme pour le climat, la cryosphère, la santé humaine et l'agriculture.

En particulier, au regard des bénéfices liés à l'application des mesures CH<sub>4</sub>, celles-ci sont adaptées pour être intégrées dans les mécanismes internationaux visant à réduire les émissions de méthane, tels que le mécanisme de développement propre (MDP) au titre du Protocole de Kyoto (article 12) ou l'Initiative mondiale sur le méthane (*Global Methane Initiative* ou GMI).

Plusieurs autres alternatives politiques existent pour mettre en œuvre les mesures « CH<sub>4</sub> + BC », y compris le renforcement des réglementations sur la qualité de l'air actuellement en place. Le fait qu'à court terme ces mesures puissent ralentir le rythme du changement climatique et contribuer à limiter la hausse maximale des températures moyennes mondiales à 2 °C (par rapport aux niveaux préindustriels), outre leurs bénéfices pour la santé et l'agriculture, pourrait inciter à leur mise en œuvre généralisée précoce afin de réaliser ces multiples bénéfices.

Ces conclusions montrent l'intérêt pour les organisations internationales à promouvoir les travaux sur ces SLFC dans la perspective d'encourager la mise en œuvre des dispositions les plus pertinentes.

(6) Valeurs 2006.

## Le carbone suie, un aperçu sur les principales études en cours(7)

La plupart des grands organismes internationaux se sont emparés du sujet :

- **Le GIEC** : le **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat** (GIEC), dans son **4<sup>e</sup> rapport d'évaluation** (2007, 1<sup>er</sup> volume : Les bases scientifiques physiques), a souligné que les forçages radiatifs directs et indirects des aérosols (dont le carbone suie) restent l'incertitude dominante dans le forçage radiatif net.

[www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf)

- **L'EPA** : l'**Agence américaine pour la Protection de l'Environnement** (EPA) a publié, le 7 décembre 2009, un rapport s'intitulant "*Final Endangerment Finding*" (Conclusions définitives sur les dangers [des gaz à effet de serre, GES]) qui a fait date. Le rapport reconnaît que « *le carbone suie est un agent important de forçage climatique* ». L'EPA souligne également les fortes incertitudes scientifiques quant à l'effet total du carbone suie sur le climat, ainsi que la difficulté à traiter dans un cadre commun les émissions à courte durée de vie du carbone suie et les émissions à longue durée de vie des GES classiques, au premier rang desquels le CO<sub>2</sub> ;

[www.epa.gov/climatechange/endangerment.html](http://www.epa.gov/climatechange/endangerment.html)  
[www.epa.gov/climatechange/endangerment/downloads/Federal\\_Register-EPA-HQ-OAR-2009-0171-Dec.15-09.pdf](http://www.epa.gov/climatechange/endangerment/downloads/Federal_Register-EPA-HQ-OAR-2009-0171-Dec.15-09.pdf) (voir p. 66520)

- **L'Institut pour la Gouvernance et le Développement Durable (IGSD)**, organisme de recherche et de conseil basé à Washington DC, a publié une étude sur les forceurs climatiques à courte durée de vie (SLCF), dont le carbone suie. Elle analyse les **bénéfices** de la réduction des émissions des SLCF pour le climat.

L'étude conclut que la réduction des émissions de SLCF réduirait les impacts climatiques à court terme, donnerait plus de temps à l'humanité pour s'adapter et réduirait le risque de dépasser des « points de non-retour<sup>(8)</sup> » pouvant conduire à des impacts irréversibles sur le climat.

[www.igsd.org/documents/PrimeronShort-LivedClimatePollutants113012145PM.pdf](http://www.igsd.org/documents/PrimeronShort-LivedClimatePollutants113012145PM.pdf)

- **Une étude internationale, publiée** le 15 janvier 2013 et réalisée par une équipe internationale de 31 chercheurs, présente les résultats d'une évaluation scientifique approfondie qui cerne le rôle du carbone suie dans le système climatique<sup>(9)</sup>. Cette évaluation constitue une analyse complète et quantitative du rôle du carbone suie dans le système climatique et examine l'efficacité d'un ensemble d'options pour réduire ses émissions. Elle analyse les principaux aspects liés au forçage climatique résultant des émissions de carbone suie.

Selon les chercheurs, les émissions mondiales totales de carbone suie s'élèveraient à environ 7,5 Mt par an en 2000 (fourchette d'incertitude comprise entre 2 et 29 Mt). Sur ce total, 4,8 Mt (soit 64 %) proviendraient de combustions liées à l'énergie, les feux ouverts (forêts, prairies et résidus agricoles) représentant le solde. En Europe, en Amérique du Nord et en Amérique latine, 70 % des émissions totales de carbone suie proviendraient des moteurs diesel, du transport routier et des engins mobiles non routiers, alors qu'en Asie et en Afrique, la contribution de la combustion des combustibles solides dans le secteur résidentiel (charbon et biomasse) serait de 60 à 80 %.

L'évaluation fait ressortir que le **forçage climatique total** du carbone suie (incluant tous les mécanismes de forçage : effets directs et indirects [interactions avec les nuages et réduction de l'albédo de la neige et de la glace]) depuis l'ère industrielle (1750-2005) serait de + 1,1 W/m<sup>2</sup>. Quant au **forçage radiatif direct** du carbone suie sur la même période, il serait de 0,71 W/m<sup>2</sup>. Cette valeur est plus du double de l'estimation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans son 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation (dit 4AR, 2007) qui était de + 0,34 W/m<sup>2</sup> (source : GIEC/4AR/WG1, chapitre 2, tableau 2.13, p. 207).

Selon l'étude, à titre de comparaison, les forçages radiatifs (dont les effets indirects) des émissions des deux principaux gaz à effet de serre (GES) (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>) étaient en 2005 respectivement de + 1,56 W/m<sup>2</sup> et + 0,86 W/m<sup>2</sup>. En d'autres termes, selon ces résultats, le carbone suie serait donc le 2<sup>e</sup> GES en termes de forçage climatique après le CO<sub>2</sub>. Les chercheurs mettent en avant que leur estimation du forçage climatique total du carbone suie (+ 1,1 W/m<sup>2</sup>) incorpore non seulement les sources de combustion de combustibles fossiles et de la biomasse (biocarburants et feux ouverts), mais aussi les effets sur les nuages. Les chercheurs reconnaissent cependant que les

(7) Synthèse de la veille scientifique assurée par Mark Tuddenham dans le cadre du CITEPA. Pour plus de détails, voir la publication du CITEPA C'est dans l'air, en particulier les numéros 158, p. 4 ; 160, p. 4 ; 165, p. 4 ; <http://www.citepa.org/fr/le-citepa/publications/c-est-dans-l-air>

(8) Au sujet des « points de non-retour », voir l'article classique des PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences, États-Unis) : Lenton et al. « Tipping elements of the earth's climate system », PNAS 2007 ; 105 : 1786-93 ; ou encore le résumé en français : Juvanon du Vachat R., 2009 : Points de rupture du système climatique. Analyse des risques et Prévention. Ass. Intern. de Climatologie, Cluj, sept. 2009, p. 257-62.

(9) Bond T. C., Doherty S.J. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, Journal of Geophysical Research 2013 ; DOI: 10.1002/jgrd.50171

connaissances sur ce dernier facteur sont encore insuffisantes. Le GIEC n'avait pas explicitement pris en compte ce dernier paramètre dans son 4<sup>e</sup> rapport.

L'étude souligne les **fortes incertitudes** quant au forçage climatique net des sources d'émission de carbone suie qui sont en grande partie liées aux connaissances insuffisantes sur les interactions des nuages, tant avec le carbone suie qu'avec le carbone organique (OC), substance émise en même temps que le carbone suie. Il importe donc d'améliorer les connaissances de l'impact du carbone suie sur les nuages.

L'étude pointe également la **sous-estimation actuelle des émissions** de carbone suie provenant de la combustion aussi bien des combustibles fossiles que de la biomasse. Ce constat vaut tout particulièrement pour l'Asie et l'Afrique.

Quant au **pouvoir de réchauffement global** (PRG) du carbone suie, les chercheurs l'estiment à 900 sur 100 ans (tous mécanismes de forçage compris). À noter que le GIEC n'a pas explicitement donné de valeur PRG pour le carbone suie dans son 4<sup>e</sup> rapport. Le GIEC a fourni des valeurs PRG sur 20, 100 et 500 ans pour les principaux GES. Le PRG du carbone suie décroît avec le temps en raison de sa courte durée de vie dans l'atmosphère (3 à 8 jours<sup>(10)</sup> par rapport au CO<sub>2</sub>).

Les émissions de carbone suie et de CO<sub>2</sub>, à PRG équivalent sur 100 ans, ont des impacts différents sur le climat, la température et les précipitations, ainsi que sur le moment où ces impacts surviennent. Étant donné ces différences, les chercheurs soulèvent la question de l'opportunité d'utiliser une seule unité de mesure pour comparer l'impact climatique du carbone suie et des GES à longue durée de vie.

Enfin, les chercheurs ont analysé les options de réduction des émissions de carbone suie. Ils concluent que la réduction des émissions provenant des moteurs diesel des véhicules semble constituer le levier le plus efficace pour atténuer le forçage climatique à court terme. La réduction des émissions liées à la combustion des combustibles solides dans le secteur résidentiel pourrait également induire une atténuation du forçage radiatif net. L'effet net d'autres sources, comme des petites chaudières au charbon dans le secteur industriel et les navires, dépend de la teneur en soufre des combustibles utilisés.

[onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50171/pdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50171/pdf)  
(voir p. 278 et 284)

[www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf)  
(valeurs de forçage radiatif du 4AR – voir tableau 2.13, p. 207)

Compte tenu des résultats prometteurs de ces études, les instances internationales élaborent des programmes d'action.

## Les actions planifiées ou engagées

- **G8** : lors du **sommet du G8**, qui a eu lieu à L'Aquila (Italie) du 8 au 10 juillet 2009, les dirigeants des huit pays les plus industrialisés au monde ont abordé le sujet du carbone suie. Dans la déclaration publiée au terme du sommet, le G8 s'est déclaré « *engagé à mettre en œuvre rapidement des actions pour lutter contre d'autres agents du forçage radiatif, comme le carbone suie* ».

[www.g8italia2009.it/static/G8\\_Allegato/G8\\_Declaration\\_08\\_07\\_09\\_final%20c0.pdf](http://www.g8italia2009.it/static/G8_Allegato/G8_Declaration_08_07_09_final%20c0.pdf)

- **OMI** : le 15 janvier 2010, **trois pays (Norvège, Suède et États-Unis)** ont remis une proposition conjointe au **Comité de la Protection du Milieu Marin** (MEPC, au sein de l'Organisation Maritime Internationale, OMI) pour examen à la 60<sup>e</sup> réunion du MEPC (22-26 mars 2010).

Dans leur proposition, les trois pays ont demandé à l'OMI de définir des actions de réduction des émissions de carbone suie du transport maritime dans l'Arctique.

La proposition passe en revue des **options de réduction des émissions de carbone suie** dans le secteur du transport maritime international (réduction de la consommation de combustible, réduction de la vitesse, évolution de la motorisation, mise en place de filtres à particules, etc.).

[www.rina.org.uk/hres/mepec%2060\\_4\\_24.pdf](http://www.rina.org.uk/hres/mepec%2060_4_24.pdf)

[pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0480421](http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0480421)  
(article par T. Bond et H. Sun)

[saga.pmel.noaa.gov/publications/pdfs/2009/lack\\_etal\\_2009.pdf](http://saga.pmel.noaa.gov/publications/pdfs/2009/lack_etal_2009.pdf) (article par D. Lack)

Lors de la 62<sup>e</sup> session du **Comité de la Protection du Milieu Marin** (MEPC), qui a eu lieu à Londres du 11 au 15 juillet 2011, cet organe technique de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) s'est mis d'accord sur un programme de travail pour examiner l'impact, dans l'Arctique, des émissions de carbone suie des navires.

[www.imo.org/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-62nd-session.aspx](http://www.imo.org/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-62nd-session.aspx)

- **Le Parlement européen** : le 22 juin 2010, le Parlement européen (PE) a animé un débat, sous forme de **table ronde**, intitulé « **Petite particule, gros problème : le lien émergent entre le carbone suie et le changement climatique** ».

L'objet du débat était **d'améliorer les connaissances et d'examiner les éventuelles actions de l'UE** à mettre en œuvre pour contribuer à la réduction des effets de ce forçeur climatique. Il a notamment été dit qu'une politique de réduction des émissions de carbone suie devrait être menée comme une politique

(10) (source : PNUE, 2011).

« sans regrets », bénéficiant à la fois au climat et à la santé. Toutefois, elle ne doit en aucun cas se substituer à la politique de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

- **Le Conseil de l'Arctique** : le 29 avril 2009, lors de la 6<sup>e</sup> réunion des ministres du Conseil de l'Arctique à Tromsø (Norvège), les huit pays arctiques au sein de ce forum intergouvernemental de haut niveau (Canada, Danemark [dont le Groenland et les Îles Féroé], États-Unis, Finlande, Islande, Norvège, Russie et Suède) ont décidé de créer un **Groupe de travail (Task Force) sur les forceurs climatiques à courte durée de vie (SLCF)** ayant pour mission d'identifier les mesures existantes et nouvelles visant à réduire les émissions des SLCF, de recommander des actions à mise en œuvre immédiate et de faire le point sur les progrès réalisés à la 7<sup>e</sup> réunion des ministres du Conseil de l'Arctique.

Les huit ministres ont également émis une **déclaration** (dite de **Nuuk**) dans laquelle, entre autres, ils ont encouragé les États de l'Arctique à mettre en œuvre, compte tenu de leur contexte national, les recommandations pertinentes visant la réduction des émissions de carbone suie.

[www.arctic-council.org/index.php/en/about/documents/category/7-working-groups-scientific-reportsassessments](http://www.arctic-council.org/index.php/en/about/documents/category/7-working-groups-scientific-reportsassessments)  
[www.arctic-council.org/index.php/en/about/documents/category/5-declarations](http://www.arctic-council.org/index.php/en/about/documents/category/5-declarations)

- **PNUE/OMM** : le 14 juin 2011, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ont publié conjointement un résumé, à l'intention des décideurs, d'une évaluation intégrée du carbone suie et de l'ozone troposphérique<sup>(11)</sup>. L'étude, élaborée par une équipe internationale de plus de 50 experts sous le pilotage de l'Agence nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) des États-Unis, évalue l'état des connaissances scientifiques et des options politiques existantes pour réduire les émissions du carbone suie et d'ozone.

L'équipe a examiné environ 2 000 mesures politiques pour sélectionner un ensemble de 16 mesures qui contribuent à la fois à l'atténuation du changement climatique et à l'amélioration de la qualité de l'air et qui ont un fort potentiel de réduction des émissions : neuf visant l'ozone et sept visant le méthane. L'impact de la mise en œuvre de ces mesures a été modélisé dans le cadre d'un **scénario d'évolution s'étendant à l'horizon 2070**. L'étude conclut notamment que des réductions d'émissions de carbone suie auront des impacts positifs sur la santé et sur le climat, et des réductions de concentrations d'ozone pourraient améliorer la production des cultures.

[www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon\\_SDM.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_SDM.pdf)

- **PNUE** : dans le cadre du **PNUE**, une **réunion ministérielle sur les SLCF** s'est tenue à Mexico le 12 septembre 2011<sup>(12)</sup>. Les ministres ont préconisé une approche concertée renforcée au niveau international.

[www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.17861!Summary%20of%20Co-chairs%2012%20sept%202011.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.17861!Summary%20of%20Co-chairs%2012%20sept%202011.pdf)

Le 25 novembre 2011, le PNUE a publié un rapport de synthèse intitulé « *Protection du climat à court terme et bénéfiques pour la qualité de l'air : actions pour réduire les forceurs climatiques à courte durée de vie* », déjà cité (cf. ci-dessus). Le rapport, axé sur le carbone suie, le CH<sub>4</sub> et l'ozone troposphérique, examine un **ensemble de 16 mesures visant à réduire les émissions de carbone suie (neuf mesures) et de méthane (sept mesures)** qui pourraient présenter d'importants bénéfices combinés pour la qualité de l'air et le climat à court terme. Il conclut notamment que l'état actuel des connaissances scientifiques est suffisamment solide pour justifier des actions immédiates de réduction des émissions de SLCF au niveau national. À cette fin, l'élaboration de **plans d'actions nationaux** est préconisée pour consolider les actions de réduction. Il s'agirait entre autres d'identifier les sources d'émission et les potentiels de réduction.

[www.unep.org/publications/ebooks/SLCF/](http://www.unep.org/publications/ebooks/SLCF/)

- **La Commission européenne** : dans le cadre du Programme européen sur le changement climatique (PECC), lancé et piloté par la Commission européenne<sup>(13)</sup>, le **Groupe de travail n° 6 sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) du transport maritime** a tenu sa 3<sup>e</sup> réunion les 15-16 novembre 2011. Celle-ci a examiné les options de réduction des émissions de SLCF du transport maritime dans le cadre de l'action de l'UE pour réduire les émissions de GES de ce secteur. Cette réunion est intervenue en amont du lancement par la Commission, le 19 janvier 2012, d'une consultation publique sur les mesures supplémentaires de réduction pour ce secteur d'ici 2020<sup>(14)</sup>.

[ec.europa.eu/clima/events/0047/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/events/0047/index_en.htm)  
[ec.europa.eu/clima/events/0047/options\\_address\\_slcf\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/events/0047/options_address_slcf_en.pdf)

- **CEE-NU** (Convention de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies) : **Travaux sur les SLCF** : un **groupe d'experts ad hoc sur le carbone suie** a été créé en décembre 2009 par l'Organe exécutif de la Convention sur la Pollution

(11) Cf. *numéro spécial Pollution Atmosphérique, novembre 2012*.

(12) Voir CDL, n° 151, p. 4.

(13) Voir CDL, n° 85, p. 1.

(14) Voir CDL, n° 154, p. 4.

Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance (dite Convention de Genève) sous l'égide de la Commission Économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-NU). Le groupe d'experts avait pour mandat spécifique **d'identifier les options pour d'éventuelles modifications du Protocole de Göteborg** (1999)<sup>(15)</sup> afin de permettre aux parties de réduire les émissions de carbone suie comme élément des particules fines (PM<sub>2,5</sub>).

Le groupe d'experts, présidé conjointement par la Norvège et les États-Unis, a donc procédé à une évaluation approfondie des informations et des données disponibles sur le carbone suie. Les résultats de cette évaluation ont été publiés dans un rapport remis à l'organe exécutif de la Convention le 30 septembre 2010, puis examiné à la 28<sup>e</sup> session de l'organe exécutif (13-17 décembre 2010).

Sur la base de ce rapport, le texte du Protocole de Göteborg, en cours de révision, a été effectivement amendé pour intégrer des références au carbone suie, mais aucune disposition contraignante n'a finalement été retenue à ce sujet. Il est simplement recommandé de développer des inventaires en la matière lorsque le Protocole entrera en vigueur<sup>(16)</sup>.

[www.unece.org/env/documents/2010/eb/eb/ece.eb.air.2010.7.e.pdf](http://www.unece.org/env/documents/2010/eb/eb/ece.eb.air.2010.7.e.pdf)

• **Coalition Climat et Air Propre (CCAC)** : le 16 février 2012, la secrétaire d'État des États-Unis, Hillary Clinton, a annoncé la **création d'une nouvelle coalition consacrée à la réalisation d'actions visant à réduire les émissions des SLCF**, au premier rang desquels le carbone suie, le méthane et les hydrofluorocarbures (HFC). Les six pays fondateurs de cette initiative sont les États-Unis, le Canada, le Mexique, la Suède, le Bangladesh et le Ghana.

[www.state.gov/secretary/rm/2012/02/184061.htm](http://www.state.gov/secretary/rm/2012/02/184061.htm)  
[www.state.gov/r/pa/prs/ps/2012/02/184055.htm](http://www.state.gov/r/pa/prs/ps/2012/02/184055.htm)

Le 6 décembre 2012, la CCAC a annoncé l'adhésion de six nouveaux pays : Pays-Bas, République de Corée, Chili, République dominicaine, Éthiopie et Maldives, ce qui porte le nombre total des partenaires à 50 (26 pays et 24 institutions et organisations internationales/intergouvernementales, instituts de recherche, associations internationales, ONG, etc.).

[www.unep.org/ccac](http://www.unep.org/ccac)

## Conclusion

On voit combien les instances internationales se sont saisies de l'opportunité que représente le double bénéfice initié par les actions en faveur de la maîtrise des SLFC. Même si le forçage climatique lié au carbone suie présente une ambiguïté en raison du rôle qu'il peut jouer dans la formation des nuages grâce aux noyaux de condensation, les résultats des nombreuses études convergent pour souligner son fort pouvoir de réchauffement. Sans pour autant se détourner de l'enjeu que représente la maîtrise du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, la découverte du rôle joué par les SLFC permet d'envisager le crédit à accorder à d'autres scénarios pour la maîtrise du changement climatique qui porteraient sur le méthane et/ou le carbone suie. C'est bien sûr la combinaison des efforts portant à la fois sur le méthane et sur le carbone suie qui donne les meilleurs résultats, surtout lorsque ces mesures sont couplées avec celles ayant le dioxyde de carbone pour cible. Néanmoins, la maîtrise des SLFC, trop longtemps négligée, permettrait d'obtenir des résultats à un horizon temporel plus proche que celui entrevu par les mesures visant à réduire le CO<sub>2</sub>. Ce décalage des bénéfices dans le temps convient tout à fait aux économistes, puisque le changement climatique pose la question de l'actualisation<sup>(17)</sup> (Abel, 2009) en imposant des investissements lourds pour un bénéfice lointain avec un taux de retour sur investissement faible. Si la nécessité de réduire les émissions de carbone et de méthane fait l'unanimité, les difficultés à surmonter sont nombreuses et concernent tous les pays, ce qui suppose de conjuguer aide au développement et maîtrise du climat et donc de croiser des approches globales et locales puisque le développement doit s'effectuer à partir de données endogènes. La déforestation et la cuisson rudimentaire des aliments constituent un enjeu essentiel de la maîtrise du carbone et des particules en général.

La maîtrise du carbone interroge aussi la ville de demain, sans carbone, avec une production énergétique locale et une mobilité douce car la ville, pour être durable, doit être saine et agréable à vivre. Cet objectif consensuel est mobilisateur, comme en témoigne la forte implication des chercheurs et des organisations internationales, mais il reste encore difficile à atteindre et le chemin à parcourir entre les études entreprises et les résultats obtenus est long alors que le temps presse.

## Remerciements

Ils s'adressent bien sûr au CITEPA et au remarquable travail de veille scientifique fourni par M. Tuddenham, mais aussi aux multiples relecteurs de cet article.

(15) Voir CDL, n° 154, p. 1.

(16) Voir CDL, n° 151, p. 4.

(17) Abel O., Bard E., Berger A. et al. Éthique et changement climatique, *Le Pommier* 2009, 204 p.