

## BULLETIN SCIENTIFIQUE POUR L'ANNÉE 2015

Plusieurs travaux publiés en 2015 et début 2016 permettent de mieux comprendre les polluants climatiques de courte durée de vie (SLCP), notamment en termes d'émission, d'inventaire et d'impacts, mais aussi pour ce qui est des avantages de l'atténuation des émissions. Ils exposent des arguments scientifiques plus solides en faveur de la lutte contre les SLCP. Le présent bulletin scientifique pour l'année 2015 du Groupe scientifique consultatif (GSC) de la Coalition pour le climat et l'air pur (CCAC) dresse une synthèse de quelques-unes des nouvelles conclusions scientifiques majeures en lien avec les travaux de la Coalition.

### PRINCIPALES CONCLUSIONS

#### Émissions et inventaires de SLCP

- Les observations atmosphériques suggèrent une accélération de la concentration de méthane dans l'atmosphère, après une décennie de stagnation suivie d'une phase de croissance lente (Figure S.1). L'augmentation des émissions liées aux activités agricoles, l'intensification de l'extraction de gaz naturel et les fuites qu'elle provoque sont autant de facteurs vraisemblablement à l'origine de cette hausse (voir 1.1).
- La comparaison d'estimations récentes des émissions de méthane aux relevés existants, comme ceux de l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA), montre que les relevés actuels sous-estiment les émissions de méthane en raison de mesures inexactes dans certains secteurs responsables des émissions (voir 1.1).
- Il est donc important d'identifier expressément les causes de l'augmentation des émissions de méthane et de mettre à jour les relevés existants. Les données et les informations cruciales ainsi recueillies serviront à élaborer des politiques pertinentes et à les évaluer, de même qu'à mettre en place des actions de prévention de nouvelles hausses et de réduction des émissions émanant de sources connues.

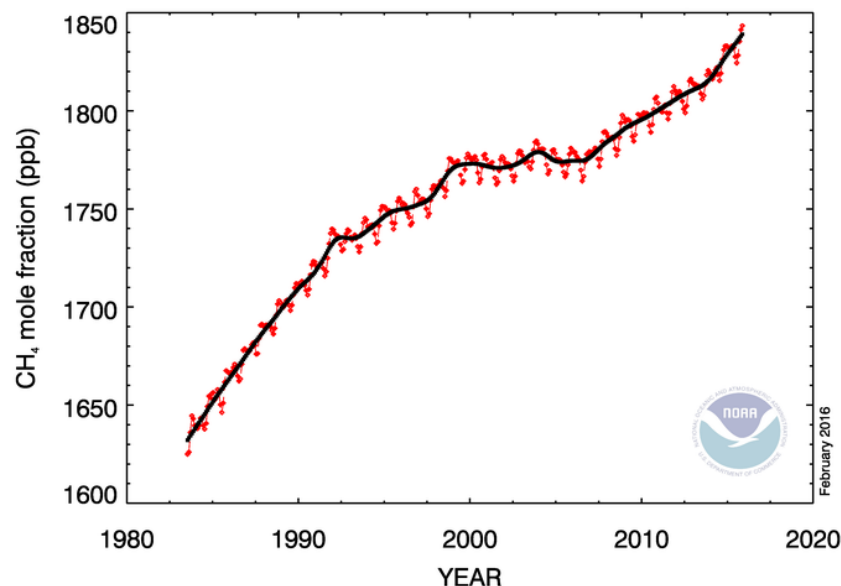


Figure S.1. Évolution de la concentration mondiale moyenne de méthane (Source : NOAA, février 2016).

- Des relevés d'émissions d'hydrofluorocarbures (HFC) effectués à l'échelle régionale et mondiale selon une méthode affinée, actuels et projectifs sur plusieurs décennies, signalent une progression des émissions qui devrait se poursuivre de façon constante au cours des prochaines années, principalement dans les pays en développement. L'augmentation de la production, de la consommation et des émissions d'HFC ayant une forte incidence sur le réchauffement climatique est particulièrement notable. Les conclusions soulignent l'importance d'atténuer la progression des émissions dans le but d'en minimiser les impacts actuels et futurs sur le climat (voir 1.2).
- Les politiques actuelles contribuent à une réduction modeste des émissions de carbone noir. L'Asie demeure le premier émetteur mondial. Quant aux secteurs responsables des émissions, de récentes études indiquent que le torchage de gaz sur les sites de production de pétrole et de gaz est une importante source d'émissions, par ailleurs habituellement négligée, notamment en Russie (voir 1.3).

## Impacts des SLCP et avantages de l'atténuation

### *Climat*

- Une hausse continue de la production, de la consommation et de l'émission de HFC aurait pour conséquence une augmentation significative du forçage radiatif en découlant. En l'absence d'une réduction des émissions de HFC, celui-ci pourrait atteindre 0,22 à 0,25 Wm<sup>-2</sup> en 2050. Selon ce scénario de maintien du statu quo, la contribution des HFC au forçage climatique mondial entre 2015 et 2050 représentera respectivement 12 et 24 % du forçage total estimé provenant des émissions de CO<sub>2</sub> sur cette période selon les scénarios RCP6 et RCP8.5 (voir 2.1.1).
- La connaissance des impacts du carbone noir sur le réchauffement climatique progresse. Il ressort de nouvelles modélisations que le forçage radiatif du carbone noir a été sous-estimé de 10 à 15 % dans de nombreux modèles climatiques qui emploient des méthodes de modélisation simplifiées et non les méthodes plus complexes multiflux (voir 2.1.1). De nouvelles études publiées ces deux dernières années ont aussi révélé une surestimation probable de la durée de vie du carbone noir dans la plupart des modèles, d'où une surévaluation du forçage. Les impacts nets de ces deux facteurs ne devraient pas être sensiblement différents (voir 2.1.1).
- Les émissions de SLCP, particulièrement celles provenant du carbone noir, ont provoqué une hausse de la température de surface de 0,35 °C (intervalle de 0,03 à 0,84 °C) dans la région de l'Arctique. De même, un réchauffement net de 0,6 °C sur le plateau tibétain et dans l'Himalaya a été imputé aux émissions de carbone noir, d'où une augmentation de la fonte des neiges. L'atténuation des émissions de SLCP peut réduire le réchauffement de l'Arctique de 0,2 à 0,62 °C (les résultats varient en fonction des études). Ces chiffres soulignent globalement l'importance et les avantages de la réduction des émissions de SLCP, particulièrement dans les régions sensibles et vulnérables (voir 2.1.1).
- Un lien a été établi entre la pollution atmosphérique causée par l'absorption d'aérosols, dont le carbone noir, et les inondations de 2013 en Chine. De la même manière, il a été démontré que la pollution liée au carbone noir pouvait modifier les régimes de précipitations, avec pour conséquence des inondations et des périodes de sécheresse. Ces résultats mettent en exergue le lien entre pollution atmosphérique et phénomènes climatiques extrêmes, et incitent davantage à lutter contre celle-ci, notamment à l'échelle locale et régionale (voir 2.1.2).

### *Santé*

- Les réductions des émissions de SLCP doivent se traduire, d'une part, par des effets bénéfiques pour la santé et, d'autre part, par des réductions des émissions de CO<sub>2</sub> à long terme. Concernant les premiers, ces réductions agiront à trois niveaux : diminution du nombre de maladies liées à la pollution atmosphérique, diminution de l'impact des SLCP sur les phénomènes climatiques extrêmes (inondations et sécheresses) et donc sur l'agriculture, qui affecte la santé humaine, et amélioration des comportements (modification des habitudes alimentaires et adoption de modes de vie favorisant l'activité) pour une meilleure santé (voir 2.2).
- La mise en œuvre, dans le secteur de l'énergie et des transports, de stratégies en faveur du climat et de la pureté de l'air axées en priorité sur le CO<sub>2</sub>, mais aussi sur le méthane, les aérosols et les gaz liés à l'ozone, pourrait éviter respectivement 175 000 et 120 000 décès prématurés d'ici 2030 aux États-Unis, tout en générant une valeur de 250 milliards de dollars pour l'économie américaine (voir 2.2).

### **Écosystèmes et agriculture**

- Des données probantes continuent d'attester les impacts de l'ozone sur l'agriculture. En l'absence d'une réduction significative de la concentration d'ozone, le rendement de la culture du riz et du maïs devrait reculer de 20 % d'ici 2050 dans la plupart des pays du Moyen-Orient, en Inde et en Chine, ce qui rendrait nécessaire d'étendre la surface agricole de 1,3 million de km<sup>2</sup>.
- Par ailleurs, l'emploi d'indicateurs différents permet de mieux comprendre les effets de l'ozone sur la végétation. De nouveaux résultats ont mis en évidence l'existence d'une plus forte absorption pour une faible concentration d'ozone. Ainsi les arbres d'Europe du Nord, dont le niveau d'absorption d'ozone est élevé, sont plus exposés à cette pollution que les arbres de Méditerranée qui, bien que poussant dans une région où la concentration d'ozone est plus forte, ont un taux d'absorption plus faible (voir 2.3).

### **Efficacité énergétique**

- La mise en œuvre concomitante d'une transition vers les réfrigérants à base de HFC et de politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique dans le domaine de la climatisation intérieure pourrait supposer une réduction de 340 à 790 gigawatts de la consommation électrique maximale à l'échelle mondiale. Elle devrait encore éviter près de 98 milliards de tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2050 (voir 2.4).

### **Politiques de réduction des émissions de SLCP**

Plusieurs publications influentes parues récemment ont abordé les politiques susceptibles de renforcer les mesures prises en matière de SLCP et insisté sur les aspects suivants :

- L'atténuation des changements climatiques requiert une action collective menée à différents niveaux au-delà du seul cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Cela pourrait inclure des partenariats comme la CCAC, des mesures régies par des accords multilatéraux tels que le Protocole de Montréal et des programmes bilatéraux comme celui en vigueur entre les États-Unis et la Chine ou entre les États-Unis et le Canada. Le succès de ces initiatives passe impérativement par la coopération internationale.
- La lutte contre les changements climatiques et leurs impacts pourrait se révéler être la plus grande initiative du XXI<sup>e</sup> siècle en faveur de la santé mondiale. Le débat sur les changements climatiques doit donc mettre davantage l'accent sur les questions liées à la santé. En outre, la prise en compte de tous les impacts imputables aux émissions, et pas uniquement de la détérioration du climat, pourrait aider à identifier les mesures ayant les plus grands effets positifs pour la société.
- La tarification du carbone pourrait être l'un des outils performants de réduction des émissions, dans la mesure où elle sert à rendre compte de leurs impacts socioéconomiques et, plus particulièrement, sur la santé. De plus, elle pourrait générer un revenu estimé à 2,6 % du produit intérieur brut mondial et une réduction de 23 %

des émissions de CO<sub>2</sub> de même qu'éviter 63 % des décès prématurés liés à la pollution. De nombreux indicateurs sont nécessaires pour une utilisation optimale de la tarification en vue de réduire les SLCP.

-----

## TRAVAUX PAR THÈME

### **1. Émissions et inventaires de SLCP**

Plusieurs travaux sur les émissions et les inventaires de SLCP publiés l'an dernier ont contribué à une meilleure connaissance des SLCP et de leurs impacts. Cette partie présente les conclusions de certaines de ces publications.

#### **1.1. Émissions et inventaires de méthane**

Une récente étude<sup>1</sup> sur les émissions de méthane provoquées par une fuite sur le site californien d'Aliso canyon en 2015 indique que l'accident a entraîné un rejet sans précédent de ce gaz dans l'atmosphère. D'après les données recueillies par des avions de détection de la pollution sur les émissions de douzaines de panaches entre le 7 novembre 2015 et le 13 février 2016, ce sont au total 97 100 tonnes métriques (soit 0,1 Tg) de méthane qui ont été rejetées dans l'atmosphère. Ces émissions, qui constituent la plus grande fuite de méthane dans l'histoire des États-Unis, auront vraisemblablement des impacts sur les objectifs d'émission de gaz à effet de serre (GES) de l'État de Californie, et correspondent au volume annuel émis par le secteur de l'énergie d'un pays de l'Union européenne de taille moyenne. Cette étude suggère en outre que le forçage radiatif<sup>2</sup> des gaz rejetés, pris en compte sur les 100 prochaines années, est égal à celui des émissions annuelles de GES de 572 000 véhicules particuliers. D'une manière générale, cet accident constitue un rappel de la gravité des émissions fugitives et donc de la nécessité d'intensifier les mesures de prévention de façon à réduire les émissions de méthane dans l'atmosphère et à remédier à cette situation fâcheuse.

Plusieurs études inédites ont essayé de quantifier les émissions de méthane provenant de diverses sources et à différentes échelles géographiques. L'une d'entre elles<sup>3</sup> a évalué les émissions mondiales totales de méthane à environ 540 Tg/an entre 2009 et 2011, celles d'origine humaine représentant environ 360 Tg/an de ce total. Elle a par ailleurs soulevé des divergences entre le relevé de l'EPA (27 Tg/an) et leurs résultats qui estimaient les émissions anthropiques à environ 40 Tg/an. De la même manière, une autre publication<sup>4</sup>, qui s'est appuyée sur des données satellites et des observations en surface, a suggéré que les émissions de méthane aux États-Unis avaient augmenté de plus de 30 % entre 2002 et 2014, contrairement aux estimations de l'inventaire national qui ne faisait ressortir aucune tendance significative. Une autre étude<sup>5</sup> portant sur l'Asie de l'Est a indiqué une hausse de 43 à 59 Tg/an entre 2000 et 2011 du total des émissions provenant des pays de la région, principalement en raison d'une augmentation des émissions en Chine (de 39 à 54 Tg/an). Cette étude a toutefois révélé que les émissions de la Chine étaient inférieures de 29 % aux estimations précédentes.

<sup>1</sup> Conley et al., 2016, « Methane emissions from the 2015 Aliso Canyon blowout in Los Angeles, CA », Science, DOI : 10.1126/science.aaf2348

<sup>2</sup> Le forçage radiatif mesure comment un forçeur climatique influe sur l'équilibre énergétique de la Terre et contribue ainsi aux changements climatiques. Une valeur positive indique une augmentation nette de chaleur dans la basse atmosphère, ce qui entraîne une hausse de la température moyenne en surface à l'échelle mondiale ; une valeur négative indique une perte nette de chaleur.

<sup>3</sup> Turner et al., 2015, « Estimating global and North American methane emissions with high spatial resolution using GOSAT satellite data », Atmospheric Chemistry and Physics (Atmos. Chem. Phys.), n° 15, 7049-7069.

<sup>4</sup> Turner et al., 2016, « A large increase in US methane emissions over the past decade inferred from satellite data and surface observations », Geophysical Research Letters. DOI : 10.1002/2016GL067987

<sup>5</sup> Thompson et al., 2015, « Methane emissions in East Asia for 2000–2011 estimated using an atmospheric Bayesian inversion », Journal of Geophysical Research: Atmospheres, n°120, 4 352–4 369

D'un point de vue sectoriel, les conclusions<sup>6</sup> qui ressortent tant des estimations effectuées selon une approche descendante qu'ascendante font état d'une sous-estimation des émissions de méthane provenant de l'industrie pétrolière et gazière. Les résultats d'une campagne coordonnée menée sur le terrain auprès d'un site pétrolier et gazier dans le nord du Texas (États-Unis) montrent que les estimations étaient environ 1,5 fois supérieures au relevé des gaz à effet de serre établi par l'EPA. Il y a deux raisons à cela : un facteur d'émissions supérieur et, surtout, le fait que les anciennes estimations n'incluaient pas toutes les stations de compression des conduites collectrices, dont les émissions sont comparables à celles des stations de compression du réseau principal. Les résultats d'une autre étude<sup>7</sup> indiquent que les volumes de méthane émis par les infrastructures de gaz naturel étaient sous-estimés en raison d'une défaillance du seul analyseur à débit élevé Bacharach (BHFS) disponible sur le marché. Approuvé par l'EPA, ce dispositif est largement utilisé pour mesurer les fuites des installations de transmission, de stockage et de traitement du gaz naturel. Les conclusions de ces travaux suggèrent que les concentrations de gaz naturel mesurées par l'analyseur BHFS peuvent être plus de 10 fois inférieures aux concentrations réelles, d'où des estimations faussement basses étant donné que les concentrations relevées par le BHFS sont employées pour calculer le taux d'émission. Ceci pourrait expliquer les divergences des résultats des estimations descendantes et ascendantes concernant les infrastructures de gaz naturel et avoir des impacts aussi bien sur le chiffrage des émissions dans ce secteur qu'en termes de sécurité.

Le recul récemment observé de l'utilisation du charbon comme première source d'énergie dans des pays énergivores, dont la Chine et les États-Unis, est une autre conclusion importante, ayant des implications significatives sur les émissions futures de méthane et la nécessité de prendre des mesures d'atténuation urgentes. D'après un commentaire récent dans la revue *Nature Climate Change*<sup>8</sup>, l'accroissement rapide des volumes mondiaux de CO<sub>2</sub> émis par les combustibles fossiles et l'activité industrielle s'est interrompu entre 2013 et 2014 malgré une croissance économique constante, et ce grâce à un ralentissement du taux de croissance de la consommation de charbon. Il s'agit d'une évolution favorable en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, mais inquiétante du point de vue des émissions de méthane. Le fait est que ce ralentissement s'est accompagné d'une augmentation du taux de croissance de la consommation énergétique de pétrole et, surtout, de gaz (voir 1.1)<sup>9</sup>. Ainsi, cette étude a fait état d'une hausse de 24 % de la consommation de gaz naturel pour répondre aux besoins en énergie pendant la période où la consommation de charbon a reculé, soit un taux de croissance d'environ 3 % pour le charbon et de 13 % pour le gaz naturel en Chine. Une tendance similaire relative aux émissions de méthane et de CO<sub>2</sub> est observée aux États-Unis dans le cadre de la transition vers le gaz de schiste, au détriment du pétrole et du gaz conventionnels. D'après une publication<sup>10</sup>, les émissions totales de gaz à effet de serre provenant de l'utilisation de combustibles fossiles aux États-Unis ont progressé entre 2009 et 2013 en raison de l'accroissement des émissions de méthane liées au cycle de production du

<sup>6</sup> Voir par exemple, Harriss et al., 2015, « Using Multi-Scale Measurements to Improve Methane Emission Estimates from Oil and Gas Operations in the Barnett Shale Region, Texas », *Environmental Science & Technology*, 2015, n° 49, 7 524–7 526 ; Lan et al., 2015, « Characterizing Fugitive Methane Emissions in the Barnett Shale Area Using a Mobile Laboratory », *Environmental Science & Technology*, n°49, 8 139-8 146. Zavala-Araiza et al., 2015, « Reconciling divergent estimates of oil and gas methane emissions », *PNAS*, n°112, 15 597–15 602, DOI : 10.1073/pnas.1522126112 ; Karion et al., 2015, « Aircraft-Based Estimate of Total Methane Emissions from the Barnett Shale Region », *Environmental Science & Technology*, n°49, 8 124–8 131 ; Lavoie et al., 2015, « Aircraft-Based Measurements of Point Source Methane Emissions in the Barnett Shale Basin », *Environmental Science & Technology*, n°49, 7 904–7 913 ; McKain et al., 2015, « Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts », *PNAS*, n°112, 1941-1946, DOI : 10.1073/pnas.1416261112

<sup>7</sup> Howard et al., 2015, « Sensor transition failure in the high flow sampler: Implications for methane emission inventories of natural gas infrastructure », *Journal of the Air & Waste Management Association*, n°65, 856–862 ; et Howard, 2015, « University of Texas study underestimates national methane emissions at natural gas production sites due to instrument sensor failure », *Energy Science & Engineering*, n°3, 443–455.

<sup>8</sup> Jackson et al., 2015, « Reaching peak emissions », *Nature Climate Change*, n° 6, 7–10.

<sup>9</sup> Il convient toutefois de souligner que les taux de croissance de la consommation d'énergie issue du nucléaire et d'autres sources d'énergies renouvelables en Chine sur la même période étaient supérieurs à ceux de la consommation d'énergie provenant du gaz naturel (respectivement 13,3 % par an et 34,3 % par an). Le taux de croissance de l'énergie hydraulique sur la période ressortait à 10,5 % par an.

<sup>10</sup> Howart, 2015, « Methane emissions and climatic warming risk from hydraulic fracturing and shale gas development: implications for policy ».

gaz de schiste, et ce malgré une baisse des émissions totales de CO<sub>2</sub> sur la période. Cette étude indique que cette tendance devrait se poursuivre jusqu'en 2040 sauf si des mesures d'atténuation sont mises en place.

Alors que les arguments précédents laissent entendre que l'augmentation récente des émissions de méthane peut être attribuée à une hausse de la production de gaz naturel, une publication<sup>11</sup> plus récente semble suggérer le contraire. Analysant l'historique des émissions de méthane de plusieurs stations de mesure entre 1984 et 2015, cette nouvelle étude montre que les hausses des concentrations de méthane survenant après 2006 proviennent essentiellement de sources biologiques, et non de combustibles fossiles. Elle indique que les activités agricoles, dont la riziculture et l'élevage, sont la principale source des émissions récentes de méthane, les ruminants comme les bovins et les ovins y contribuant dans une large mesure.

Globalement, ces nouvelles conclusions apportent des données et des informations cruciales, et soulignent la nécessité d'élaborer des politiques pertinentes et de mettre en place des actions visant à prévenir de nouvelles hausses et à réduire les émissions émanant de sources connues.

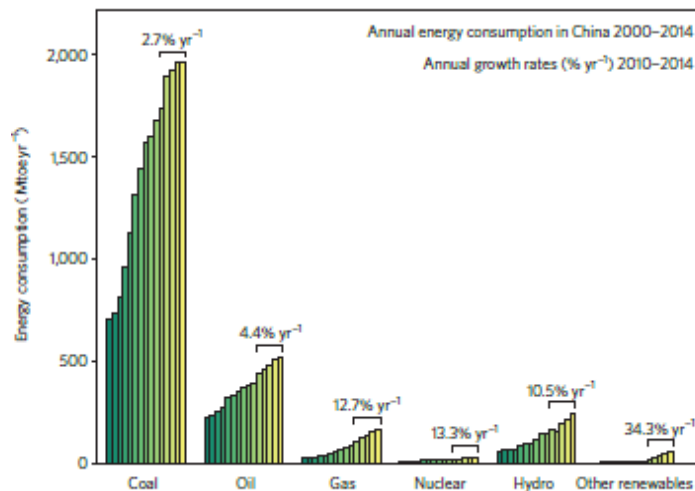


Figure 1.1. Consommation d'énergie par source de combustible de 2000 à 2014, les taux de croissance se référant à la période 2010-2014.

## 1.2. Émissions et inventaires d'hydrofluorocarbures

Les résultats des modélisations effectuées en 2015 ont permis de mieux cerner les tendances des émissions de HFC régionales et mondiales et la contribution de divers secteurs responsables des émissions. Une étude<sup>12</sup> montre un accroissement spectaculaire et constant des émissions mondiales pour cinq des principaux HFC, de 0,30 Tg éq. CO<sub>2</sub>/an (0,28–0,32) en 2007 à 0,47 Tg éq. CO<sub>2</sub>/an (0,44–0,50) en 2012, soit une augmentation moyenne de 0,03 Tg

<sup>11</sup> Schaefer et al., 2016, « A 21st century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by <sup>13</sup>CH<sub>4</sub>. Science », DOI : 10.1126/science.aad2705

<sup>12</sup> Lunt et al., 2015, « Reconciling reported and unreported HFC emissions with atmospheric observations », PNAS, n°112. 5 927–5 931, DOI : 10.1073/pnas.1420247112

éq. CO<sub>2</sub>/an (0,02–0,04). Dans une autre étude<sup>13</sup>, selon un scénario de maintien du statu quo<sup>14</sup>, l'utilisation et les émissions de HFC devraient régulièrement progresser au cours des prochaines années (figure 1.2A), avec des prévisions comprises dans un intervalle de 4,0 à 5,3 Gt éq. CO<sub>2</sub>/an à l'échelle mondiale d'ici 2050, soit entre 0,8 et 1,0 Gt éq. CO<sub>2</sub>/an pour les pays développés et entre 3,2 et 4,4 Gt éq. CO<sub>2</sub>/an pour les pays en développement (figure 1.2B). De plus, leurs résultats établissent que les principaux responsables des émissions de HFC à l'échelle mondiale d'ici 2050 seront la Chine, l'Inde et le reste de l'Asie (31 %), le Moyen-Orient (23 %), l'Afrique du Nord (11 %) et les États-Unis (10 %). La ventilation par secteur indique de surcroît que la réfrigération industrielle et commerciale et la climatisation fixe seront les premières sources d'émissions d'ici 2050, avec une part respective de 54 % (intervalle de 40 à 58 %) et de 27 % (intervalle de 21 à 40 %) dans les volumes totaux émis. Ce scénario de maintien du statu quo aboutirait donc à un forçage radiatif de 0,22 à 0,25 Wm<sup>-2</sup> d'ici 2050, les pays en développement étant responsables de 0,16 à 0,19 Wm<sup>-2</sup> et les pays développés de 0,06 à 0,07 Wm<sup>-2</sup> (figure 1.2C).

Une autre publication<sup>15</sup> axée sur l'évolution passée et prévisionnelle des émissions de HFC en Chine a montré une hausse rapide de la production, de la consommation et des émissions de HFC entre 2005 et 2013. D'après les estimations, les émissions de HFC en équivalent CO<sub>2</sub> en 2013 ont augmenté, à 113 Tg éq. CO<sub>2</sub>/an, contre 8,1 Tg éq. CO<sub>2</sub>/an en 2005. Elles devraient encore progresser pour atteindre 2 000 à 2 800 Tg éq. CO<sub>2</sub>/an d'ici 2050 selon un scénario de maintien du statu quo. Le fait que les HFC ayant un potentiel de réchauffement global (PRG)<sup>16</sup> relatif élevé, notamment HFC-143a (PRG<sub>100</sub> = 5 080) et HFC-125 (PRG<sub>100</sub> = 3 450), dominent les émissions et qu'ils aient atteint respectivement un taux de croissance de 100 % et 83 % entre 2005 et 2013 est à la fois digne d'intérêt et inquiétant. Dans un scénario de maintien du statu quo, les émissions cumulées de la Chine entre 2014 et 2050 ont été estimées à 59 000 Tg éq. CO<sub>2</sub> (51 000–67 000), soit un effet négatif sur le climat mondial cinq à sept fois supérieur à l'effet positif du Protocole de Montréal.

Une autre étude<sup>17</sup> a révélé une hausse des émissions de HFC-134a d'environ 19 Gg/an à 167 Gg/an entre 1995 et 2010, les pays développés accusant un ralentissement et la Chine une augmentation de 20 % depuis 2005. Cette évolution est frappante et préoccupante étant donné que les HFC-134a ont un PRG élevé, supérieur à 1 500 sur une période de 100 ans, et qu'il existe déjà des produits de substitution à faible PRG pour les systèmes de réfrigération et de climatisation.

---

<sup>13</sup>Velders et al., 2015, « Future atmospheric abundances and climate forcings from scenarios of global and regional hydrofluorocarbon (HFC) emissions », *Atmospheric Environment*, n°123, 200–209.

<sup>14</sup>Le scénario inchangé retient un maintien des utilisations actuelles (substances et technologies) de HFC dans certains secteurs et des transitions des hydrochlorofluorocarbures (HCFC) aux HFC dans les pays en développement identiques à celles ayant eu lieu dans les pays développés.

<sup>15</sup>Fang et al., 2016, « Hydrofluorocarbon (HFC) Emissions in China: An Inventory for 2005–2013 and Projections to 2050 », *Environ. Sci. Technol.*, n° 50, 2 027–2 034

<sup>16</sup> Le potentiel de réchauffement global (PRG) est un indice relatif qui sert à comparer les répercussions sur le climat des émissions de divers gaz à effet de serre (et d'autres facteurs des changements climatiques). Il mesure la quantité d'énergie piégée dans l'atmosphère suite aux émissions d'une tonne d'un gaz sur une période donnée, par comparaison aux émissions d'une tonne de dioxyde de carbone, choisi comme gaz de référence et dont le PRG est fixé à 1.

<sup>17</sup> Fortems-Cheiney et al., 2015, « Increase in HFC-134a emissions in response to the success of the Montreal Protocol », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, n°120, 11 728–11 742



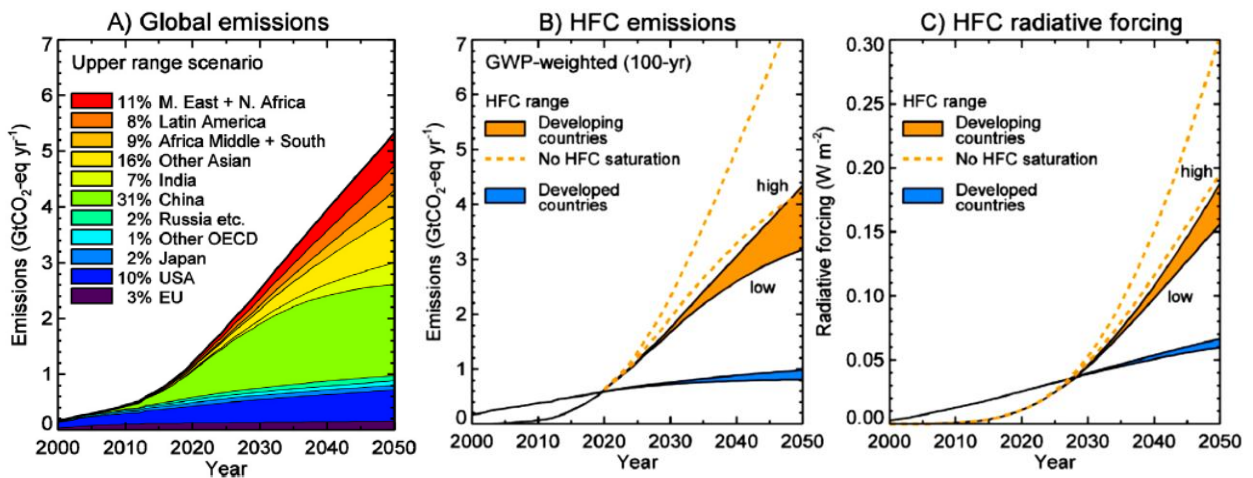


Figure 1.2. Émissions mondiales de HFC et forçage radiatif induit sur la période 2000-2050 dans un scénario de maintien du statu quo. (Source : Velders et al., 2015. Voir note 13)

### 1.3. Émissions et inventaires de carbone noir

Le rapport d'évaluation 2015 de l'AMAP<sup>18</sup> a évalué l'émission mondiale totale de carbone noir en 2010 à environ 7 Tg/an et projeté une diminution à environ 6 Tg/an en 2030, puis une stabilisation à ce niveau jusqu'en 2050 dans un scénario de maintien du statu quo. Cette analyse montre que l'Asie<sup>19</sup> est responsable de plus de 50 % des émissions entre 2010 et 2050, les pays de l'Arctique<sup>20</sup> contribuant à environ 10 % des émissions mondiales totales. Concernant les sources d'émissions, le rapport de l'AMAP indique que, malgré de nombreuses incertitudes liées à des connaissances insuffisantes des volumes de torchage et des facteurs d'émission, le brûlage de gaz qui accompagne la production pétrolière a un très fort impact sur les concentrations de carbone noir dans l'Arctique. Cet argument est étayé par une étude<sup>21</sup> portant sur les émissions de carbone noir dans la Fédération de Russie, le plus vaste pays du Conseil de l'Arctique. Cette étude a évalué les émissions anthropiques totales de carbone noir dans ce pays à 0,2 Tg. Or, alors qu'il est une source d'émission habituellement négligée, le torchage de gaz est le secteur qui contribue le plus à ce total (environ 36 %).

## 2. Impacts des SLCP et avantages de l'atténuation

De nouvelles études ont été publiées au cours des derniers mois qui approfondissent nos connaissances des divers impacts des SLCP et des avantages potentiels pour le climat, la qualité de l'air, la santé, l'agriculture et la consommation énergétique. Cette partie passe en revue les principaux résultats de certaines de ces études.

### 2.1. Impacts/avantages pour le climat

#### 2.1.1. Impacts sur le réchauffement climatique

<sup>18</sup> AMAP ASSESSMENT 2015: Black Carbon and Ozone as Arctic Climate Forcers », <http://www.amap.no/documents/doc/AMAP-Assessment-2015-Black-carbon-and-ozone-as-Arctic-climate-forcers/1299>

<sup>19</sup> Ces pays d'Asie incluent la Chine, l'Inde, le Japon, Singapour et la Corée du Sud (hors pays d'Asie centrale).

<sup>20</sup> À savoir le Canada, le Danemark, la Finlande, l'Islande, la Norvège, la Russie, la Suède et les États-Unis.

<sup>21</sup> Huang et al., 2015, « Russian anthropogenic black carbon: emission reconstruction and Arctic black carbon simulation », Journal of Geophysical Research: Atmospheres, n°120, 11 306–11 333, DOI : 10.1002/2015JD023358

La recherche sur les futures concentrations atmosphériques et le forçage climatique dû aux HFC<sup>22</sup> montre qu'une augmentation considérable et constante de la production, de la consommation et donc des émissions de HFC engendrerait un accroissement important du forçage radiatif. Comme cela a été préalablement mentionné (voir 1.2), les résultats indiquent que, dans un scénario de maintien du statu quo, le forçage radiatif lié aux HFC pourrait atteindre 0,22 à 0,25 Wm<sup>-2</sup> d'ici 2050, dont 0,16 à 0,19 Wm<sup>-2</sup> pour les pays en développement et 0,06 à 0,07 Wm<sup>-2</sup> pour les pays développés. Cette augmentation du forçage radiatif lié aux HFC entre 2015 et 2050 représenterait respectivement 12 % et 24 % de la hausse du forçage radiatif lié aux émissions de CO<sub>2</sub> sur cette période selon les scénarios RCP6 et RCP8.5.

De récentes études apportent par ailleurs une compréhension affinée de l'incidence du carbone noir sur le climat. Une étude<sup>23</sup> a utilisé un nouveau satellite, nettement plus sensible aux propriétés microphysiques des aérosols que les instruments utilisés lors de mesures précédentes. Il en est ressorti que la plupart des modèles sous-estiment sensiblement les propriétés d'absorption des aérosols, notamment dans les régions tropicales. Ainsi les résultats de nombreux modèles « bruts » évaluant l'impact du carbone noir pouvaient être fortement biaisés à la baisse. Cette étude a conclu que les aérosols avaient un impact direct et semi-direct dans l'atmosphère potentiellement plus élevé que ne le laissent entrevoir les estimations actuelles. Une autre étude<sup>24</sup> montre que la moyenne mondiale du forçage radiatif de carbone noir a été sous-estimée de 10 % à 15 % (en fonction des conditions atmosphériques) dans de nombreux modèles climatiques qui emploient des méthodes de modélisation simplifiées et non les méthodes multiflux, plus complexes, qui requièrent une plus grande puissance de calcul lorsqu'elles sont appliquées aux simulations mondiales. Or, sous-estimer le forçage radiatif du carbone noir se traduit vraisemblablement par une minimisation de ses impacts sur le réchauffement climatique au niveau régional et mondial.

Quelques nouvelles études publiées en 2015 ont permis de mieux cerner la contribution du carbone noir et d'autres SLCP au réchauffement climatique ainsi que les avantages liés à une réduction de leurs émissions. Il est à noter, toutefois, comme nous l'avons signalé précédemment, que les résultats de modélisations « brutes » (c'est-à-dire non ajustées pour tenir compte des biais relatifs aux observations) pourraient sous-estimer le rôle du carbone noir dans le réchauffement climatique. Par exemple, le rapport d'évaluation de l'AMAP a fourni de nouvelles informations sur les impacts du carbone noir et de l'ozone dans l'Arctique et sur les avantages pour le climat d'actions visant à en réduire les émissions. Il a été estimé, à partir de quatre modèles, que les émissions de carbone noir, de carbone organique et de soufre issues des volumes mondiaux actuels de combustion pourraient entraîner une hausse de 0,35 K (intervalle 0,03 à 0,84 K) de la température d'équilibre de surface de l'Arctique, dont +0,40 K (0,28 à 0,56 K) provoqué par le carbone noir dans l'atmosphère, +0,22 K (0,15 à 0,29 K) par le carbone noir présent dans la neige, -0,04 K (-0,14 à +0,06 K) par le carbone organique et -0,23 K (-0,37 à +0,07 K) par le soufre. Une autre étude<sup>25</sup> a montré que l'atténuation des SLCP réduirait le réchauffement de l'Arctique de 0,44 °C (0,39 à 0,49 °C) d'ici 2050, avec un pic de diminution de 0,62 °C (0,37 à 0,84 °C) en automne. Néanmoins, une étude<sup>26</sup> a fait état d'une réduction moindre du réchauffement dans l'Arctique d'ici 2050, de l'ordre de 0,2 K (+/-0,17 K), dans le cas d'un scénario d'atténuation rigoureux, mais techniquement envisageable pour les SLCP entre 2015 et 2030. Ces conclusions soulignent globalement l'importance et les avantages de l'atténuation des émissions de carbone noir dans l'Arctique.

<sup>22</sup>Velders et al., 2015, « Future atmospheric abundances and climate forcings from scenarios of global and regional hydrofluorocarbon (HFC) emissions », *Atmospheric Environment*, n°123, 200–209

<sup>23</sup>Lacagnina et al., 2015, « Aerosol single-scattering albedo over the global oceans: Comparing PARASOL retrievals with AERONET, OMI, and AeroCom models estimates », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, n°120, 9 814–9 836 ;

<sup>24</sup>Myhre et Samset, 2015, « Standard climate models radiation codes underestimate black carbon radiative forcing », *Atmos. Chem. Phys.*, n° 15, 2 883-2 888

<sup>25</sup>Stohl et al., 2015, « Evaluating the climate and air quality impacts of short-lived pollutants », *Atmos. Chem. Phys.*, n° 15, 10529-10566

<sup>26</sup>Sand et al., 2015, « Response of Arctic temperature to changes in emissions of short-lived climate forcers », *Nature Climate Change*, n° 6, 286–289, DOI : 10.1038/nclimate2880

Concernant d'autres régions, une étude s'est intéressée au plateau tibétain et à l'Himalaya<sup>27</sup>. Employant un modèle climatique mondial océan-atmosphère à haute résolution, elle a limité dans les paramètres le forçage d'aérosols de carbone noir de façon à montrer que les émissions d'aérosols provoquaient un réchauffement de 1,3 °C lié au carbone noir et un refroidissement de 0,7 °C provenant de facteurs de refroidissement, soit un réchauffement net qui a accru la fonte des neiges au Tibet et dans l'Himalaya. Une autre étude<sup>28</sup> qui s'appuyait sur un modèle climatique mondial a établi qu'une réduction des émissions de carbone noir pourrait amener une diminution de la température de surface moyenne estivale allant jusqu'à 1 °C dans les régions centrales de l'Amérique du Nord et de 0,3 °C dans le nord de l'Inde.

### **2.1.2. Impacts sur les conditions météorologiques et les régimes de précipitations**

Concernant les impacts du carbone noir sur les conditions météorologiques et les régimes de précipitations, une publication<sup>29</sup> récente a révélé que les inondations catastrophiques de 2013 dans la région montagneuse du bassin du Sichuan en Chine étaient dues à des pluies extrêmement abondantes provoquées par une atmosphère polluée, saturée d'aérosols, principalement de carbone noir (figure 2.1). Une publication plus récente<sup>30</sup> des mêmes auteurs indique parallèlement que la pollution atmosphérique liée au carbone noir pourrait aussi entraîner une réduction des précipitations. Effectuant des simulations à partir du modèle Weather Research and Forecasting Model et de données chimiques en ligne, ils ont mis en évidence que l'absorption d'aérosols, principalement de carbone noir, à travers les interactions entre aérosols et radiations, affaiblissait les brises de vallée par un phénomène de réchauffement en hauteur et de refroidissement en surface, d'où une réduction sensible des précipitations (figure 2.2). Une autre publication<sup>31</sup> a analysé les interactions entre les aérosols anthropiques et la mousson estivale dans l'est de l'Asie pour conclure que le renforcement des mouvements de circulation atmosphérique induit par le carbone noir pouvait accroître les inondations dans le sud de la Chine et la sécheresse dans le nord de la Chine en raison d'un effet de réchauffement local. Une autre étude<sup>32</sup> a montré, en outre, que la réduction des émissions de SLCP pouvait entraîner une hausse des précipitations de 15 mm/an (6 à 21 mm), soit 4 % (2 à 6 %) des précipitations totales du sud de l'Europe. Ces résultats sont particulièrement intéressants dans la mesure où il a été démontré qu'un scénario sans réduction des SLCP entraînerait sécheresse et pénuries d'eau dans la région méditerranéenne au cours de prochains étés.

## **2.2. Impacts/avantages pour la santé**

Le rapport d'orientation de l'OMS/CCAC sur la réduction des risques sanitaires mondiaux grâce à l'atténuation des SLCP<sup>33</sup>, de même qu'une étude<sup>34</sup> de 2015 mettent en évidence les impacts et les avantages en matière de santé de la réduction des SLCP. Ce rapport montre que la réduction des émissions de SLCP serait triplement bénéfique pour la santé, en ce qu'elle s'accompagnerait :

- d'avantages directs grâce à une réduction notable de la prévalence de maladies comme l'accident vasculaire cérébral, la maladie cardiaque ischémique, l'infection aiguë des voies respiratoires inférieures, la

<sup>27</sup>Xu et al., 2015, « Observed high-altitude warming and snow cover retreat over Tibet and the Himalayas enhanced by black carbon aerosols », *Atmos. Chem. Phys.*, n° 16, 1 303-1 315

<sup>28</sup>Chuwah et al., 2015, « Global and regional climate impacts of future aerosol mitigation in an RCP6.0-like scenario in EC-Earth », *Climatic Change*, n°134, 1-14

<sup>29</sup>Fan et al., 2015, « Substantial contribution of anthropogenic air pollution to catastrophic floods in Southwest China », *Geophysical Research Letters*, DOI : 10.1002/2015GL064479

<sup>30</sup>Fan et al., 2016, « Mechanisms contributing to suppressed precipitation in Mt. Hua of Central China, Part I - Mountain Valley Circulation », *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 73, 1 351-1 366. DOI : <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-15-0233.1>

<sup>31</sup>Wang et al., 2015, « The interactions between anthropogenic aerosols and the East Asian summer monsoon using RegCCMS », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. DOI : 10.1002/2014jd022877

<sup>32</sup>Stohl et al., 2015, « Evaluating the climate and air quality impacts of short-lived pollutants », *Atmos. Chem. Phys.*, n° 15, 10 529-10 566

<sup>33</sup>OMS/CCAC, 2015, *Reducing global health risks through mitigation of short-lived climate pollutants*, <http://www.who.int/phe/publications/climate-reducing-health-risks/en/>

<sup>34</sup>Scovronick et al., 2015, « Reduce short-lived climate pollutants for multiple benefits », DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)61043-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(15)61043-1)

bronchopneumopathie chronique obstructive et le cancer du poumon, imputables à la pollution atmosphérique ;

- d'avantages indirects grâce, d'une part, à une réduction des impacts des SLCP sur les régimes météorologiques et la fonte des neiges et des glaces, lesquels pourraient être préjudiciables à la santé du fait de conditions climatiques extrêmes, et, d'autre part, à de meilleurs rendements agricoles qui amélioreraient la sécurité alimentaire et la nutrition ;
- d'avantages associés à certaines mesures d'atténuation des SLCP comme (1) une modification des habitudes alimentaires en faveur d'aliments nutritifs d'origine végétale qui présentent moins de risques pour la santé et une réduction des SLCP émis par le secteur de l'élevage du fait d'une baisse de la demande, et (2) le développement prioritaire de voies de circulation rapides réservées aux bicyclettes et aux piétons, qui favorisent la santé et réduisent la pollution atmosphérique et les risques sanitaires qui y sont associés.

Le rapport de l'OMS/CCAC établit également que certaines stratégies de réduction des émissions de SLCP axées sur l'amélioration de la santé pourraient aboutir à une importante réduction conjointe des émissions de CO<sub>2</sub> et avoir ainsi des effets positifs sur les changements climatiques à court et à long terme.

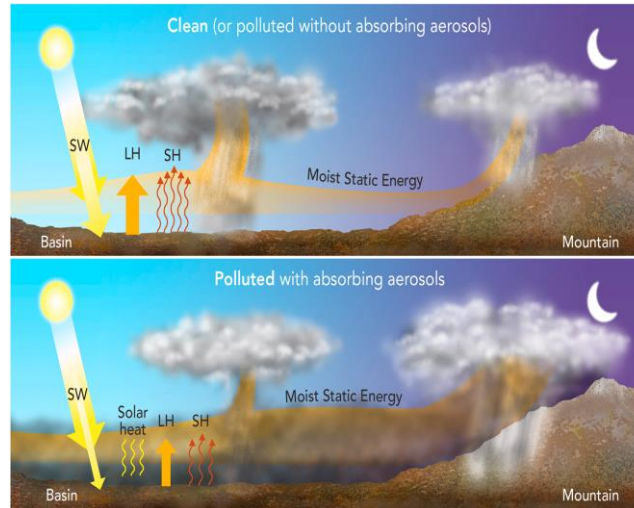


Figure 2.1. Mécanisme d'instabilité conditionnelle renforcée par les aérosols et aboutissant à des précipitations extrêmes.

Source : Fan et al., 2015. Voir note 29

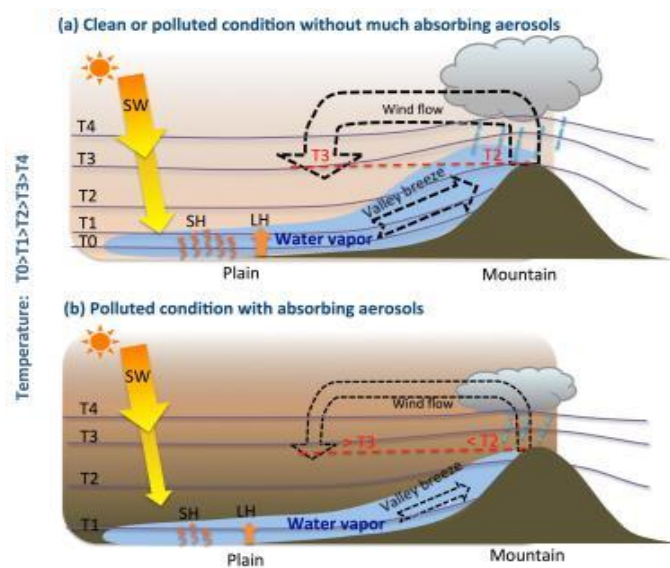


Figure 2.2. Mécanisme d'affaiblissement des brises de vallée et baisse des précipitations liée à la pollution atmosphérique.

(Source : Fan et al., 2016, voir note 30)

À l'instar du rapport de l'OMS, d'autres travaux ont décrit les avantages pour la santé de l'atténuation des SLCP. Une étude<sup>35</sup> abordant l'incidence sur la santé publique en termes d'espérance de vie a signalé que l'adoption de mesures de réduction des SLCP engendrerait une amélioration de cet indicateur d'un mois dans l'Union européenne, de deux mois en Chine et de douze mois en Inde d'ici 2030, par comparaison à un scénario ne prévoyant la mise en place d'aucune mesure. Une autre étude<sup>36</sup> s'intéressant à la substitution du charbon par le gaz naturel pour le chauffage et la cuisine (particuliers et commerces) en Turquie a démontré que ce changement avait causé une nette diminution du taux de mortalité infantile, qui équivaut à environ 348 enfants épargnés pour la seule année 2011.

<sup>35</sup>Stohl et al., 2015, « Evaluating the climate and air quality impacts of short-lived pollutants », Atmos. Chem. Phys., n° 15, 10 529-10 566.

<sup>36</sup>Cesur et al., 2015, « Air Pollution and Infant Mortality: Evidence from the Expansion of Natural Gas Infrastructure », The Economic Journal. DOI : 10.1111/eoj.12285

De même, une analyse récente<sup>37</sup> axée sur les avantages pour la santé et le climat du respect d'un niveau d'émissions compatible avec le plafond de réchauffement de 2 °C aux États-Unis a montré que la réduction des gaz à effet de serre et des aérosols, dont le CO<sub>2</sub>, le méthane, l'ozone, le dioxyde de soufre, l'oxyde d'azote et le carbone noir, dans le cadre de politiques préconisant des énergies propres, pourrait éviter environ 175 000 décès prématurés d'ici 2030, puis 22 000 décès par an les années suivantes. En parallèle, des politiques en faveur de moyens de transport propres pourraient prévenir 120 000 décès prématurés d'ici 2030, puis 14 000 décès par an les années suivantes. Cette étude estime à environ 250 milliards \$ US les avantages nationaux à court terme de la mise en œuvre de ces politiques. Elle indique par ailleurs que ceux-ci pourraient être multipliés presque par cinq si l'on considère les effets sur le climat mondial à plus long terme. Elle réitère la nécessité de privilégier fortement l'atténuation des SLCP et des émissions de CO<sub>2</sub> afin d'en exploiter les avantages pour la santé et d'accroître les chances de se maintenir nettement en deçà de l'objectif de réchauffement de 2 °C fixé dans l'accord de Paris sur le climat.

### **2.3. Impacts/avantages pour les écosystèmes et l'agriculture**

Les conclusions de nouveaux travaux de recherche ont apporté des éclaircissements sur la capacité d'adaptation des populations de poissons au réchauffement rapide des océans induit par les changements climatiques. D'après une étude récente<sup>38</sup>, dans le golfe du Maine, où ce réchauffement des températures à la surface de la mer est estimé être 99 % plus rapide que pour le reste de la masse océanique, il a été constaté une réduction du recrutement<sup>39</sup> et une hausse de la mortalité. Associées à la surpêche, ces deux phénomènes entraînent un effondrement de la pêche dans cette partie de l'océan Atlantique. Ces conclusions mettent en évidence le besoin de réduire de façon urgente le rythme du réchauffement de manière à accroître les facultés d'adaptation des organismes et de l'écosystème. L'atténuation des émissions de SLCP représente une possibilité concrète de réduire le rythme des changements climatiques à court terme.

De nouvelles données probantes attestent les impacts de l'ozone de surface sur la végétation. Une récente étude portant sur les effets conjoints de l'ozone et de la sécheresse sur la sécurité alimentaire en Chine<sup>40</sup> a estimé le recul du rendement moyen annuel des récoltes entre 1981 et 2010 à 10 %, soit 55 millions de tonnes, les pertes les plus importantes étant relevées dans le nord de la Chine. Un autre article sur la Chine<sup>41</sup> estime que les concentrations élevées d'ozone enregistrées en 2000 pourraient être à l'origine d'une baisse de 6,4 à 14,9 % du rendement des récoltes de blé, un intervalle qui pourrait s'élever à 14,8-23 % en 2020. Par ailleurs, une nouvelle étude<sup>42</sup> destinée à estimer l'impact de l'ozone sur la production agricole et l'exploitation du sol entre 2005 et 2050 montre que l'ozone était responsable d'environ 10 % des pertes relatives de rendement (RYL) de riz et de maïs en 2005, notamment au Moyen-Orient, en Inde et en Chine où l'on recense une forte concentration d'ozone pendant les périodes de croissance. D'après cette étude, en l'absence d'une réduction importante des polluants atmosphériques, des concentrations élevées d'ozone pourraient provoquer des pertes relatives de rendement allant jusqu'à 20 % d'ici 2050 dans la plupart des régions du Moyen-Orient, d'Inde et de Chine, auquel cas il sera nécessaire d'étendre les terres cultivables de 1,3 million km<sup>2</sup>, soit une hausse moyenne de 2,5 % à l'échelle mondiale, la plus forte augmentation concernant l'Asie (8,9 %). Cette étude montre de même que l'application de politiques climatiques rigoureuses ciblant aussi les émissions de précurseurs d'ozone pourrait contribuer à une réduction d'environ 10 % des pertes relatives de rendement en Chine et en Inde d'ici 2050.

<sup>37</sup>Shindell et al., 2016, « Climate and health impacts of US emissions reductions consistent with 2°C », *Nature Climate Change*, DOI : 10.1038/nclimate2935

<sup>38</sup>Pershing et al., 2015, « Slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery », *Science*, n° 350, 809-812.

<sup>39</sup> Le recrutement correspond au nombre de nouveaux poissons qui rejoignent une population, du fait de naissances ou de migrations.

<sup>40</sup> Tian et al., 2015, « Climate extremes and ozone pollution: a growing threat to China's food security », *Ecosystem Health and Sustainability*, n°2, 1-10.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ehs2.1203/full>

<sup>41</sup>Feng et al., 2015, « Ground-level O<sub>3</sub> pollution and its impacts on food crops in China: A review », *Environmental Pollution*, n°199, 42-48.

<sup>42</sup>Chuwah et al., 2015, « Global impacts of surface ozone changes on crop yields and land use », *Atmospheric Environment*, n°106, 11-23.

L'utilisation de divers indicateurs de quantification permet de mieux comprendre les impacts de l'ozone sur la végétation. Les indicateurs qui évaluent les flux d'ozone nocif à l'intérieur de la plante, plutôt que ceux s'intéressant aux concentrations, établissent que l'ozone a de plus grands impacts dans certaines régions d'Europe caractérisées par des pics inférieurs, mais par des volumes totaux de flux d'ozone plus importants. C'est ce que met en évidence une étude<sup>43</sup> consacrée aux arbres. Elle démontre que les arbres de Méditerranée sont potentiellement moins touchés que ceux du nord de l'Europe, malgré des pics d'ozone supérieurs. En effet, l'absorption d'ozone est plus élevée dans les pays du nord du fait que les flux d'ozone y sont déterminés par des conditions différentes, météorologiques et propres aux plantes. L'augmentation des niveaux naturels d'ozone semble aussi avoir des impacts sur les plantes des hautes terres marécageuses, dont elle accélère la sénescence. De même, l'accroissement des concentrations d'ozone s'accompagne d'une hausse des émissions de méthane<sup>44</sup>. Tout cela indique que les terres marécageuses sont sensibles aux concentrations d'ozone. Ce constat n'est pas sans conséquence sur la capacité de séquestration des gaz à effet de serre et les budgets qui y sont consacrés.

D'après une autre étude<sup>45</sup>, en dépit d'une baisse de la fréquence des pics d'ozone en Europe — attestée par les concentrations d'ozone mesurées sur les « supersites » de l'EMEP au Royaume-Uni —, les indicateurs de mesure des flux qui quantifient l'ozone nocif absorbé par la plante indiquent que l'impact global de l'ozone sur la végétation pourrait ne pas avoir diminué. En effet, ce sont les conditions météorologiques et propres à la plante pendant un pic d'ozone qui limitent son absorption. En revanche, l'emploi d'indicateurs mesurant la surcharge d'ozone pour la végétation (AOT40) et d'un indicateur mesurant l'incidence de l'ozone sur la santé (SOMO35) montre une diminution de cet impact. Ainsi, la gravité de l'impact de l'ozone était fonction de l'indicateur utilisé pour en quantifier les répercussions pour la santé et la végétation. En tout état de cause, l'accroissement du niveau naturel d'ozone soulève des inquiétudes. Un article récent a souligné qu'une coopération à l'échelle de la planète était nécessaire pour réduire ce niveau<sup>46</sup>.

#### **2.4. Effets positifs en matière d'efficacité énergétique**

Les études scientifiques continuent à mettre en évidence et à étayer les avantages multiples liés à l'atténuation des SLCP, notamment ceux touchant à l'efficacité énergétique. Une nouvelle étude<sup>47</sup> sur l'avantage du saut technologique vers des réfrigérants à faible PRG et une très haute efficacité énergétique dans le domaine de la climatisation intérieure montre que la mise en œuvre concomitante d'une transition vers les réfrigérants à base de HFC et de politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique multiplierait par deux les avantages induits par des initiatives indépendantes. Ainsi le passage à une technologie à plus haute efficacité énergétique et à des réfrigérants à faible PRG, en parallèle à l'utilisation d'une technologie à moindre efficacité énergétique employant des réfrigérants à PRG élevé pourrait supposer une réduction de 340 à 790 gigawatts de la consommation électrique maximale à l'échelle mondiale d'ici 2030. Cela équivaut globalement à une réduction de 500 MW pour respectivement 680 à 1 550 centrales électriques. Outre les avantages en termes d'efficacité énergétique, cette transition devrait encore éviter jusqu'à près de 25 milliards de tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> en 2030, 33 milliards en 2040 et 40 milliards en 2050, soit au total 98 milliards de tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2050.

<sup>43</sup> Anav et al., 2016, « Comparing concentration-based (AOT40) and stomatal uptake (PODY) metrics for ozone risk assessment to European forests », *Global Change Biology*, n°22, 1 608-1 627. DOI : 10.1111/gcb.13138

<sup>44</sup> Williamson et al., 2016, « How do increasing background concentrations of tropospheric ozone affect peatland plant growth and carbon gas exchange? », *Atmospheric Environment*, n°127, 133–138

<sup>45</sup> Malley et al., 2015, « Trends and drivers of ozone human health and vegetation impact metrics from UK EMEP supersite measurements (1990–2013) », *Atmos. Chem. and Physics (Atmos. Chem. Phys.)*, n° 15, 4025-4042.

<sup>46</sup> Monks et al., 2015, « Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer », *Atmos. Chem. Phys.*, n° 15, 8889-8973, DOI : 10.5194/acp-15-8889-2015. <http://www.atmos-chem-phys.net/15/8889/2015/>

<sup>47</sup> Shah et al., 2015, « Benefits of Leapfrogging to Super-efficiency and Low Global Warming Potential Refrigerants in Room Air Conditioning », <http://eetd.lbl.gov/publications/benefits-of-leapfrogging-to-superef-0>

### 3. Politiques de réduction des émissions de SLCP

Un article d'opinion publié dans la revue *Nature Climate Change*<sup>48</sup> considère que la lutte contre les émissions de SLCP ouvre des perspectives politiques pour générer des avantages concrets et pour aider les gouvernements à créer un climat de confiance quant à la possibilité d'une action collective en matière de changements climatiques. Il y décrit un nouveau point de vue qui commence à se répandre selon lequel, pour être efficaces, les initiatives conjointes doivent être menées à différents niveaux et à travers différents forums, au-delà du seul cadre de la CCNUCC. Il cite comme exemple la Coalition pour le climat et l'air pur (CCAC), le Protocole de Montréal, des programmes bilatéraux sur les changements climatiques comme celui en vigueur entre les États-Unis et la Chine<sup>49</sup> et des actions unilatérales comme les mesures de réduction drastique des SLCP dans l'Union européenne et en Californie. Un autre exemple récent est l'engagement conjoint des États-Unis et du Canada sur le climat, l'énergie et le rôle de leadership dans l'Arctique<sup>50</sup>.

La Commission de la Fondation Rockefeller et du magazine *The Lancet* sur la santé planétaire a lancé un appel, dans son rapport<sup>51</sup>, en faveur de l'atténuation des émissions de SLCP afin de préserver la santé de la planète et d'induire des avantages pour l'environnement. Le rapport<sup>52</sup> de la Commission Lancet de 2015 sur le changement climatique et la santé, constituée afin d'évaluer les impacts du premier sur la seconde et de dégager des réponses politiques nécessaires, a formulé une recommandation similaire. Il a ainsi indiqué que la lutte contre les changements climatiques et leurs impacts pourrait en fait se révéler la plus grande initiative du XXI<sup>e</sup> siècle en faveur de la santé mondiale. Cette commission préconise l'atténuation des SLCP, dont le carbone noir, en vue de réduire le lourd tribut qu'ils imposent à la santé et d'en exploiter les bienfaits immédiats pour la société. Ce rapport indique par ailleurs que la dimension sanitaire de la crise des changements climatiques a été négligée et il en appelle donc à une plus grande prise en compte de la santé dans le débat. Il demande également à ce que les gouvernements soient davantage suivis et tenus responsables des progrès et des actions réalisés en matière de réduction et d'adaptation des émissions au moyen d'une procédure indépendante adaptée.

Un article sur les méthodes de mise en œuvre des résultats de l'accord de décembre 2015 sur le climat<sup>53</sup> a suggéré que la tarification du carbone pouvait être l'un des outils performants de réduction des émissions, dans la mesure où elle sert à rendre compte de leurs impacts sur la santé. D'après ce même article, une meilleure compréhension des avantages de la réduction des émissions, entre autres de méthane et de carbone noir, en matière de santé et à d'autres niveaux pourrait accroître l'acceptabilité politique et économique de la taxe sur le carbone. Y est citée une autre publication dans laquelle il est estimé que la taxe sur le carbone pourrait générer des revenus représentant 2,6 % du produit intérieur brut mondial et une réduction de 23 % des émissions de CO<sub>2</sub> de même qu'éviter 63 % des décès prématurés liés à la pollution. Un autre article<sup>54</sup> abordant les implications en termes de politiques des émissions de méthane et du risque de réchauffement du climat lié à la fracturation hydraulique et à l'exploitation des gaz de schistes défend une taxe sur le carbone tenant compte du méthane en sus du CO<sub>2</sub>. L'argument développé considère que la taxation sur les émissions de méthane devrait refléter le potentiel de réchauffement global de 20 ans de ce gaz et, par conséquent, s'élever à 86 fois celle du CO<sub>2</sub>.

<sup>48</sup> Victor et al., 2015, « Soot and short-lived pollutants provide political opportunity », *Nature Climate Change*, n°5, 796–798. DOI : 10.1038/nclimate2703

<sup>49</sup> Voir <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/09/25/us-china-joint-presidential-statement-climate-change>

<sup>50</sup> <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/03/10/us-canada-joint-statement-climate-energy-and-arctic-leadership>

<sup>51</sup> Whitmee et al., 2015, « Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: Report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health » <http://www.thelancet.com/commissions/planetary-health>

<sup>52</sup> Watts et al., 2015, « Health and climate change: policy responses to protect public health », *The Lancet* : <http://www.thelancet.com/commissions/climate-change-2015>

<sup>53</sup> Cuevas et Haines, 2015, « Health benefits of a carbon tax », *The Lancet* [http://thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(15\)00994-0/fulltext](http://thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(15)00994-0/fulltext)

<sup>54</sup> Howarth, 2015, « Methane emissions and climatic warming risk from hydraulic fracturing and shale gas development: implications for policy », *Energy and Emission Control Technologies*, 2015, n°3, 45-54, DOI : <http://dx.doi.org/10.2147/EECT.S61539>



Un article paru dans *The Lancet*<sup>55</sup> a insisté sur la nécessité de comptabiliser davantage les avantages de l'atténuation des SLCP et de les rapprocher des coûts qui y sont associés, et ce dans une optique incitative. Plus précisément, il a suggéré de tenir compte de divers avantages et impacts, et de faire appel à des indicateurs plus globaux que ceux existant en matière de changement climatique (par exemple le PRG à horizon 100 ans actuellement utilisé par la CCNUCC). D'après cet article, l'organisation actuelle de nombreux gouvernements doit aussi être prise en compte. En effet, la séparation de leurs différents domaines d'administration peut rendre difficile l'élaboration de politiques axées sur des résultats positifs multidimensionnels comme c'est le cas pour les politiques d'atténuation des SLCP. Il est donc nécessaire de favoriser des systèmes qui encouragent une collaboration multisectorielle.

Concernant les indicateurs et la comptabilisation des SLCP, une récente étude<sup>56</sup> a souligné en quoi l'exclusion des émissions de courte durée de vie (dont le monoxyde de carbone et le méthane, considérés comme précurseurs de l'ozone troposphérique, et le carbone noir) et de projections à court terme dans la comptabilisation des gaz à effet de serre entraîne une sous-déclaration des émissions et masque les impacts qui y sont associés. Cette étude, qui s'intéresse au cas de l'Australie, a recalculé les émissions pour inclure ces gaz de courte durée de vie et utilisé un PRG de 20 ans. Elle a démontré que les émissions annuelles ont plus que doublé par rapport à l'inventaire national réalisé à partir de ces paramètres, l'agriculture produisant 54 % des émissions totales à l'échelle nationale. Cette étude préconise une réforme des efforts d'atténuation afin d'élargir et d'accélérer les actions concernant les types de gaz de courte durée de vie responsables du réchauffement, dont le résultat sera rapidement palpable. Elle prescrit également de nouveaux travaux de recherche consacrés aux questions complexes en la matière et reliant les diverses dimensions des changements climatiques.

Une vaste analyse économique recouvrant les SLCP a également été publiée en 2015<sup>57</sup>. Ayant pour titre « *The Social Cost of Atmospheric Release* » (le coût social des rejets atmosphériques), elle englobe non seulement les dommages liés au changement climatique imputables aux émissions, comme dans le cas de la tarification du dioxyde de carbone ou de la tarification équivalente du méthane en fonction de son PRG, mais encore les impacts sur la santé et l'agriculture. Cette étude a révélé que cet indicateur global différait significativement des évaluations reposant uniquement sur le climat ou la qualité de l'air. Elle propose donc d'inclure tous les impacts en jeu afin d'optimiser les avantages pour la société des politiques ainsi élaborées.

Enfin, un article se penche sur les conclusions du rapport d'évaluation de l'AMAP<sup>58</sup>, lequel considère les pays d'Asie comme la première source des émissions qui touchent l'Arctique<sup>59</sup>. Il défend l'importance à la fois de la coopération internationale et de l'engagement dans le débat politique des pays en dehors de la région arctique qui sont responsables des émissions afin de lutter efficacement contre les problèmes environnementaux liés aux changements climatiques et à la pollution atmosphérique auxquels est confrontée cette région. Il évoque le rôle que pourraient jouer dans cette coopération internationale des organismes et des initiatives comme l'Organisation maritime internationale, la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) ou la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

<sup>55</sup> Scovronick et al., 2015, « Reduce short-lived climate pollutants for multiple benefits », *The Lancet*, n° 386, e28–e31

<sup>56</sup> Wedderburn-Bisshop et al., 2015, « Neglected Transformational Responses: Implications of Excluding Short Lived Emissions and Near Term Projections in Greenhouse Gas Accounting », *International Journal of Climate Change: Impacts & Responses*, n°7, 11-27

<sup>57</sup> Shindel, 2015, « The social cost of atmospheric release », *Climate Change*, n°130, 313-326

<sup>58</sup> Schmale, 2015, « Arctic warming, short-term solutions », *Nature Climate Change*, n°6, 234-235.

<sup>59</sup> Cet argument est soutenu également par Liu et al., 2015, « The importance of Asia as a source of black carbon to the European Arctic during springtime 2013 », *Atmos. Chem. Phys.*, n° 15, 11 537-11 555