

Programme GICC
RAPPORT DEFINITIF (Mars 2005)
Inventaire d'émissions d'aérosol carboné de 1860 à 2100
ou
Quelles émissions d'aérosol carboné
pour un impact climatique régional/global significatif ?

Cathy Liousse (LA) : coordinateur

Principaux collaborateurs français :

C. Michel (doctorant LA-feux de biomasse), B. Guillaume (doctorant LA-algorithme), Carsten Junker (post-doctorant LA- inventaires 1860-2030)

H. Cachier (LSCE) et B. Guinot (doctorant, LSCE) : campagnes de mesure de facteurs d'émissions.

P. Criqui (IEPE) et S. Mima (IEPE): Consommations de fuels par activité ; modèle POLES

J.M. Brignon (INERIS) : contact IIASA

Principaux collaborateurs étrangers : J. Penner (Université du Michigan, USA), G. Carmichael (Université de Iowa, USA), R. Gadi (National Physical Lab., New Delhi, Inde) , H. Denier Van der Gon (TNO, Hollande), Jean-Marie Grégoire (JRC, Ispra).

1- Introduction :

Même s'il est beaucoup plus complexe à évaluer que celui des gaz à effet de serre (GES), le rôle climatique des aérosols est maintenant avéré. De plus, il est au centre de nombreux débats, depuis qu'une étude américaine récente (Hansen et al., 2000) a montré que pour réduire le réchauffement climatique, l'effort devrait porter non seulement sur la réduction des émissions de GES, mais également sur les aérosols carbonés. Une étude plus récente encore a même suggéré à cet égard qu'il serait plus efficace de réduire les émissions d'aérosol carboné que celles des gaz à effet de serre (Jacobson, 2002), car le temps de vie des aérosols est bien plus court que celui des GES et, par suite l'effet plus rapidement ressenti. Malheureusement, les énergies les plus propres en GES (comme le diesel) sont encore les plus émettrices en particules carbonées. On comprend alors l'inquiétude des politiciens et des industriels à qui l'on avait conseillé de transformer les énergies « essence » en énergie « diesel », afin de limiter les émissions de GES, et qui réalisent aujourd'hui que la conséquence de cette transformation serait d'augmenter les émissions particulières! Lors du workshop « Pollution- Climat » organisé à Hawaï par J. Hansen (Mai 2002), ces mêmes conférenciers s'étonnaient de cette complexité, renvoyant les scientifiques dans leurs laboratoires pour valider ces hypothèses.

L'étude de l'impact radiatif de l'aérosol carboné en est donc encore à ses débuts. Cet impact est complexe et multiple à cause de l'inhomogénéité de la distribution géographique des aérosols et de leurs propriétés. L'aérosol carboné se décompose en effet en 2 fractions en proportions variables et aux propriétés radiatives opposées : le carbone organique (OC), par effet radiatif direct, produit principalement un refroidissement de l'atmosphère alors que le carbone-suie ou "black-carbon" (BC) produit un réchauffement.

Les stratégies qui portent sur les réductions d'émissions du CO₂ produit par les combustions, ont donc un impact important sur les émissions de particules carbonées qui, dans leur grande majorité, sont elles aussi produites par combustions. Malheureusement, s'il existe une relation simple entre la consommation de fuels (fossile ou végétal) et les émissions de CO₂ de combustion, celle ci ne peut pas s'appliquer aux particules carbonées provenant des

combustions. En effet, la quantité de particules émises, ainsi que leurs compositions respectives en carbone organique et carbone suie, leur capacité en tant que CCN et la hauteur d'injection dans l'atmosphère dépendent du type de fuel employé, du mode de combustion et donc, des technologies retenues.

Que ce soit pour prendre en compte l'aérosol carboné dans les modèles climatiques, ou bien pour définir des stratégies de réduction des émissions particulières, nous devons encore approfondir notre connaissance des émissions d'aérosols carbonés. Notre objectif général ici est donc d'explorer la période 1860-2100 en établissant des cartes d'émissions de l'aérosol carboné, passées, présentes et futures. Les deux composantes de l'aérosol carboné seront traitées avec une attention particulière portée au carbone organique particulaire et son origine, primaire et secondaire. Par ailleurs, les sources dominantes de l'aérosol carboné seront considérées. Tout d'abord, les sources de fuels fossiles et de feux domestiques ou biofuels, avec la prise en compte de leur variabilité spatio-temporelle de 1860 à 2100 et des scénarisations de projections plus réalistes ainsi que des stratégies de réduction cohérentes en terme économique pour 2030 et ensuite les feux de biomasse. Par ailleurs, il convient également ici d'analyser les différences entre les différents inventaires existants ou en cours de développement. Des études de modélisation à l'aide de modèles de transport off-line seront également initiées, qui devraient déboucher sur des éléments préliminaires de réponse à la question suivante : quelles émissions d'aérosol carboné seraient nécessaires pour que son impact climatique soit significatif au niveau régional et/ou global par rapport à celui des GES (CO₂, CH₄...) ?

2- Résumé (1-2 pages) : voir le résumé en anglais en annexe 1.

Même s'il est sensiblement plus complexe à évaluer que celui des gaz à effet de serre (GES), le rôle climatique des aérosols est maintenant nettement avéré. De plus, il est au centre de nombreux débats, depuis qu'Hansen et al. (2000) ont montré que pour réduire le réchauffement climatique, l'effort devrait porter à la fois sur les réductions des émissions de GES mais également, des aérosols carbonés. Une étude plus récente encore a même suggéré qu'il serait plus efficace de réduire les émissions d'aérosol carboné que celles des gaz à effet de serre (Jacobson, 2002), car le temps de vie des aérosols est sensiblement plus court que celui des GES. Malheureusement, les énergies les plus propres en GES sont actuellement les plus émettrices en particules carbonées. On comprend alors l'inquiétude des politiciens et des industriels à qui l'on avait conseillé de transformer les énergies « essence » en énergie « diesel », afin de limiter les émissions de GES, et qui réalisent aujourd'hui que la conséquence de cette transformation serait d'augmenter les émissions particulières! Lors du workshop « Pollution- Climat » organisé par J. Hansen (Mai 2002), ces mêmes conférenciers s'étonnaient de cette complexité, renvoyant les scientifiques dans leurs laboratoires pour valider ces hypothèses.

Le but de notre programme s'inscrit dans cette thématique, puisque notre objectif est de construire un inventaire d'émission des particules carbonées de 1860 à 2100. La stratégie adoptée est, dans un premier temps, d'améliorer et de développer les inventaires actuels (1950 à 2000) pour les émissions par les fuels fossiles et les biofuels (feux à base de bois, charbon de bois, déchets agricoles etc..), de construire ceux du passé (1890-1950) et du futur (projection 2030-2100), puis d'étudier les émissions des feux de savane et de forêts à l'aide de l'imagerie satellitale.

Les résultats obtenus à partir d'une méthodologie se situant à l'interface entre expérimentation et modélisation sont le fruit d'une coopération active entre les principaux laboratoires participants (LA, LSCE, IEPE et JRC-Ispra). En voici les principales lignes.

- 1) Révision des algorithmes permettant de calculer les distributions spatiales et temporelles des émissions par les fuels fossiles et les feux domestiques. Etablissement des inventaires d'émissions pour les fuels fossiles (trafic, industries..) et les feux domestiques (bois, charbon..), pour le carbone suie (BC), le carbone organique primaire (OCp) et le carbone organique total (OCtot), de 1950 à 1997. Ces travaux ont permis de réviser les valeurs de facteurs d'émissions à partir des données récentes de la littérature. Ils ont également mis en évidence l'importance des feux domestiques sur le bilan global des émissions des particules carbonées, tout particulièrement dans les pays en voie de développement.
- 2) Etablissement des inventaires d'émission des fuel fossiles et des feux domestiques pour BC, OCp et OC tot, de 1860 à 1997, en tenant compte des variations au cours du temps des consommations en fuels, du type d'activité et des facteurs d'émission. Pour la période 1860-1950, une nouvelle méthodologie a été mise en place à partir des données de Bairoch (1991) pour l'estimation de l'évolution des consommations de fuels, des données de la base de données UNSTAT pour l'évolution de l'utilisation des fuels et des données de Pertuisot (1997) pour l'évolution des facteurs d'émission. Des comparaisons ont été menées sur les années communes 1950-1985, entre l'inventaire basé sur UNSTAT (cf paragraphe 1) et l'inventaire basé sur Bairoch. Par ailleurs, nous avons pu montrer l'intérêt de prendre en compte des valeurs de facteurs d'émissions évolutives au cours du temps.
- 3) Etablissement des inventaires d'émission pour les feux de biomasse à partir des surfaces brûlées détectées par imagerie satellitale, pour l'Afrique (1981-1991 et 2000) et l'Asie (2000 et 2001). Ces résultats montrent l'importance de l'utilisation de la télédétection des surfaces brûlées dans le calcul des émissions, au lieu de statistiques moyennes, jusqu'ici communément employées. Ils montrent également une première comparaison d'inventaires établis à partir de deux méthodologies basées sur l'imagerie satellitale : respectivement, les méthodologies « surfaces brûlées » et « cartes de pixels de feux ». Au vu de ces conclusions, il est aujourd'hui important de favoriser le rapprochement des groupes qui travaillent sur ces deux types de méthodologies. Les objectifs initiaux de notre programme prévoyaient de déterminer une méthodologie pour les projections passées et futures. Nos résultats montrent que les projections passées et futures ne peuvent pas dépendre uniquement des cartes de population, mais doivent également comporter des indicateurs climatiques.
- 4) Etablissement d'inventaires d'émissions pour les fuels fossiles et les feux domestiques pour des projections futures. Des premiers inventaires d'émissions pour les fuels fossiles ont été réalisés pour l'horizon 2100, pour des scénarios « catastrophes » (scénario A2) et des scénarios « idéaux » (scénario B1), à partir des données IPCC. Compte tenu des nombreuses hypothèses avancées pour dériver les inventaires 2100, et de l'absence des feux domestiques, nous avons développé de nouveaux inventaires pour 2030, à partir de critères socio-économiques plus réalistes que ceux invoqués avec les données IPCC, et incluant de plus les sources de fuels fossiles et de feux domestiques. Pour la période 1990-2030, les données de consommations de fuels par activité ont été obtenues à partir des données du modèle POLES de l'équipe de P. Criqui pour 2 scénarios (un scénario de référence « ref » de type business as usual et un scénario « ccc » répondant aux critères du protocole de Kyoto). Cette étude fait ressortir l'importance des contrôles d'émissions effectués entre les différents scénarios. Suivant le scénario ref ou ccc, les estimations des émissions de BC sont comprises dans une gamme entre 5.8 et 13.7 TgC (rappelons que le budget de BC est compris entre 0.6-100 TgC pour les scénarios 2100 B1 et 2100 A2 (Lioussé et Cachier, 2005)).
- 5) Caractérisation des particules d'aérosol carboné à l'émission. Il s'est agi ici d'organiser une campagne expérimentale dans la chambre de combustion du LA, afin d'obtenir les

caractéristiques physicochimiques des émissions de combustions méconnues (feux domestiques indiens et chinois à partir de charbons divers, de bois, de bouses d'animaux, etc., des fuels achetés en Inde et envoyés par notre collègue indienne R. Gadi) et de les quantifier. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux valeurs de facteurs d'émission des particules carbonées, ainsi qu'à leur taille. Il est important de noter que contrairement à nos attentes, les combustions de charbon émettent des particules carbonées de taille plutôt submicronique. Par ailleurs, les valeurs d'EF, plus élevées que celles citées dans la littérature, sont représentatives de combustions domestiques non contrôlées, typiques des pays en voie de développement. Dans un souci de meilleure intégration de ces données (littérature et expériences récentes), nous avons déterminé une formulation théorique permettant d'obtenir les valeurs d'EF, ainsi que le rapport BC/OC, en fonction de paramètres permettant de décrire le type de combustion (par le biais du rapport généralement connu CO/CO₂). Cette relation a pu être validée au cours de notre expérience pour les feux domestiques.

- 6) Mise à jour des différences entre les inventaires existant au niveau international et recherche de leurs causes. Il s'est agi d'organiser un atelier de travail international en juin 2002, où les spécialistes du domaine étaient rassemblés afin de mettre en évidence les raisons pour lesquelles les inventaires existants sont si différents, que ce soient sur la définition de l'aérosol, le choix des facteurs d'émission ou les méthodes de prélèvement et d'analyse utilisées. Différentes études se sont appuyées sur les comparaisons effectuées pendant cet atelier (Bond et al., 2004, Liousse et al., 2005, livre IIASAG en préparation et chapitre IPCC). En écrivant le chapitre du livre IGAC-Emissions, édité par C. Granier, sur les émissions par les feux de biomasse, C. Liousse, H. Cachier et J. Penner ont mentionné cet effort de coordination et de révision au niveau international pour le choix des EF des feux de savane et de forêts (Liousse et al., 2004). Cependant, des recommandations claires sont aujourd'hui nécessaires compte tenu des disparités qui continuent d'exister entre les inventaires. Dans le cadre du programme ACCENT (réseau d'excellence du programme européen FP6) et de GEIA (Global Emission Inventory Activities, <http://weather.engin.umich.edu/geia>), de nouvelles rencontres sont prévues en 2005 entre les différents spécialistes, afin de proposer des inventaires cohérents à l'échelle internationale pour les utilisateurs.

NB : La construction de ces inventaires a été réalisée sous un format « base de données » avec l'aide technique de MEDIAS (CAPEDB : Database of Carbonaceous Aerosol Particle Emission), afin d'être facilement exploitables et accessibles. Ce travail s'est effectué en lien avec un programme financé par l'ADEME, centré sur le développement d'inventaires d'émissions régionaux et continentaux. La base de données sera accessible dès la publication d'articles sur ces différents travaux.

3- Méthodologie

La méthodologie utilisée à l'interface entre expérimentation et modélisation, est la suivante ;

- 1) Révision des algorithmes permettant de calculer les distributions spatiales et temporelles des émissions par les fuels fossiles et les feux domestiques. Etablissement des inventaires d'émissions pour les fuels fossiles (trafic, industries..) et les feux domestiques (bois, charbon..) pour BC, OC_p et OC_{tot} de 1950 à 1997.
- 2) Etablissement des inventaires d'émission des fuels fossiles et des feux domestiques pour BC, OC_p et OC_{tot}, de 1860 à 1997, en tenant compte des variations au cours du temps des consommations de fuels, du type d'activité et des facteurs d'émission.

- 3) Etablissement des inventaires d'émission pour les feux de biomasse à partir des surfaces brûlées détectées par imagerie satellitale, pour l'Afrique et l'Asie. Les objectifs initiaux prévoyaient de déterminer des inventaires pour le présent mais également de donner des recommandations pour les projections passées et futures.
- 4) Etablissement d'inventaires d'émissions pour les fuels fossiles et les feux domestiques pour des projections futures. Des premiers inventaires ont été réalisés pour 2100, pour des scénarios « catastrophes » (scénario A2) et des scénarios « idéaux » (scénario B1), à partir des données IPCC. Il s'agit à présent de dériver de nouveaux inventaires pour 2030, à partir de critères socio-économiques plus réalistes que ceux obtenus avec les données IPCC. Pour la période 1990-2030, les données de consommations de fuels par activité sont obtenues à partir des données du modèle POLES pour différents scénarios.
- 5) Révision des facteurs d'émission et caractérisation des particules d'aérosol carboné à l'émission (tailles et propriétés). Il s'est agi ici d'organiser une campagne expérimentale dans la chambre de combustion du LA permettant d'effectuer des mesures pour des combustions méconnues (feux domestiques indiens et chinois à partir de charbons divers, de bois, de bouses d'animaux, etc...). Par ailleurs, compte tenu de la non disponibilité de facteurs d'émissions (EF) pour toutes les combustions existantes et leurs normes régulatrices associés, il s'est agi de déterminer une formulation théorique permettant d'obtenir les valeurs d'EF en fonction des paramètres généralement connus (rapport CO/CO₂) et de la tester sur l'ensemble des données expérimentales existantes.
- 6) Mise à jour des différences entre les inventaires existants au niveau international et recherche de leurs causes. Il s'est agi tout d'abord d'organiser un atelier de travail international où les spécialistes du domaine étaient rassemblés afin de mettre en évidence les raisons pour lesquelles les inventaires sont différents. Il s'agit également aujourd'hui dans le cadre du programme ACCENT (réseau d'excellence du programme européen FP6) et de GEIA (Global Emission Inventory Activities) dans les comités scientifiques desquels nous figurons, d'organiser de nouvelles rencontres (prévues en 2005) entre les différents spécialistes, afin de proposer des inventaires cohérents à l'échelle internationale pour les utilisateurs.

NB : La construction de ces inventaires a été réalisée sous un format « base de donnée » (CAPEDB : Database of Carbonaceous Aerosol Particle Emission), afin d'être facilement exploitables. Ce travail s'est effectué en lien avec un programme financé par l'ADEME, centré sur le développement d'inventaires d'émissions régionaux et continentaux. La base de données sera accessible dès la publication d'articles sur ces différents travaux.

4- Résultats

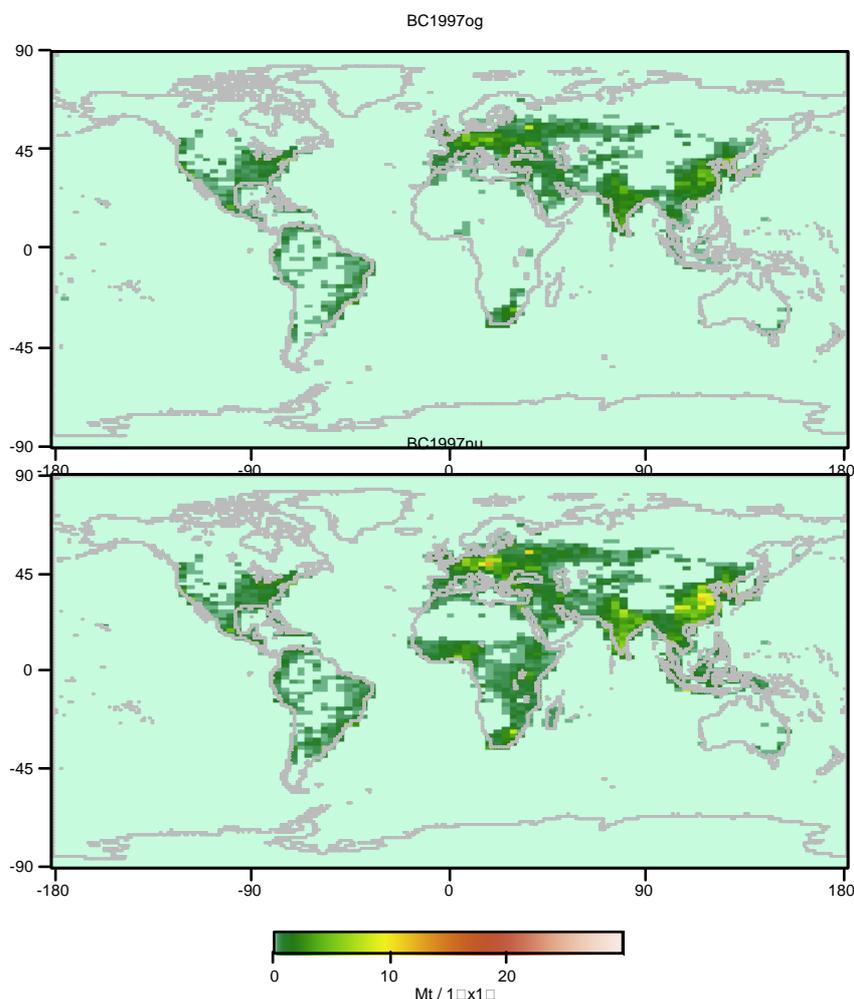
Voici maintenant les résultats des différents axes évoqués.

4-1- Révision des algorithmes pour l'établissement d'inventaires d'émissions par les fuels fossiles et les feux domestiques de 1950 à 1997 (base de données UNSTAT et facteurs d'émission constants) (Liousse and Cachier, 2005 en cours de soumission ; Junker and Liousse, 2005a, en préparation, Guillaume et Liousse, 2005, en préparation).

Cette action servant de base à notre étude a permis de s'affranchir de nombreux problèmes existant dans les algorithmes précédents de Cooke et Wilson (1996), problèmes à l'origine des erreurs dans le calcul des inventaires d'émission, surtout pour les périodes (1950-1970) et (1989-1997). Les données de consommation de fuels ainsi que leur répartition en activités proviennent de la base de données UNSTAT, les facteurs d'émission étant considérés comme constants. Une étude détaillée de la littérature (parmi les articles publiés

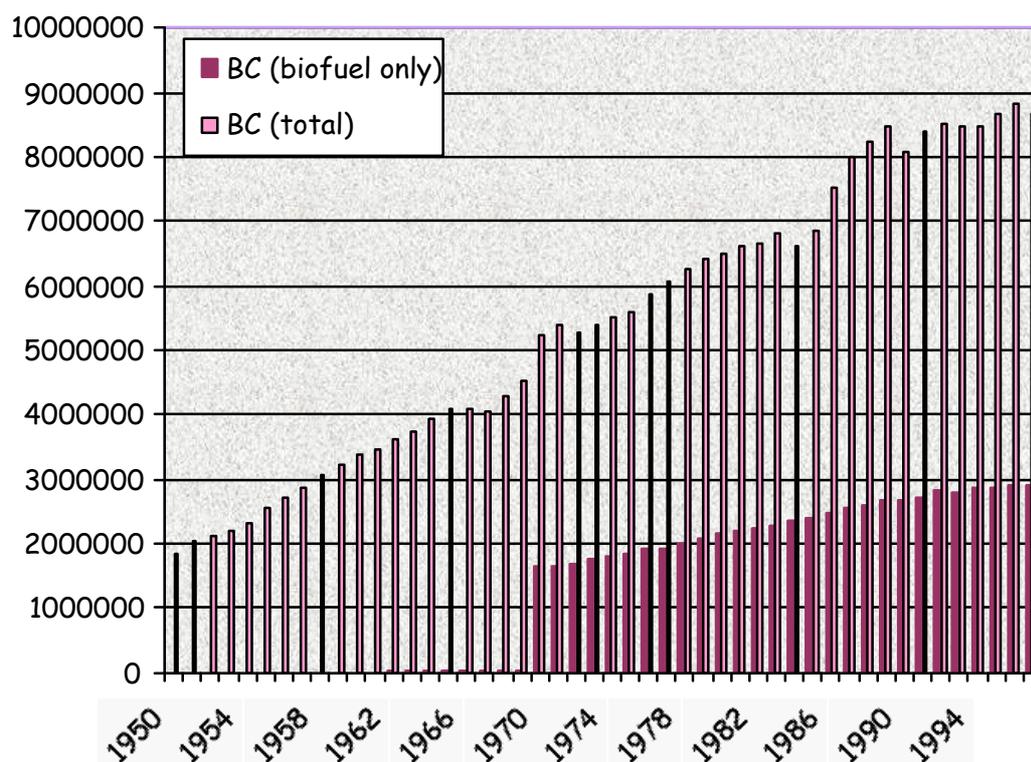
les plus récents), ainsi que la prise en compte de résultats expérimentaux récents (cf Guinot et al. 2005 (paragraphe 5), Venkataraman et al., 2005, Chen et al., 2005) a permis d'estimer les valeurs de facteurs d'émission pour le bois et le charbon de bois, (combustions jusqu'alors ignorées dans ces études globales) et de réviser les valeurs d'EF pour les autres fuels de l'inventaire de Cooke et al., 1999 (cf paragraphes suivants). Comme nous pouvons le voir sur la figure 1 pour le carbone suie, l'ajout des émissions par les feux domestiques affecte de manière non négligeable les pays en voie de développement (Afrique et Asie).

Figure 1 : Emissions de carbone suie en 1997 incluant les fuels fossiles seulement (partie A) et les fuel fossiles et les feux domestiques (partie B = UN +POLES).



Les inventaires d'émission par les fuels fossiles et les feux domestiques sont donc établis pour la période 1950-1997 pour le carbone suie, le carbone organique primaire et le carbone organique total. La figure 2 présente les tendances des émissions de carbone suie. Des articles en cours de rédaction analysent l'ensemble de ces tendances (Lioussé et Cachier., 2005, Guillaume et Lioussé, 2005, Junker and Lioussé, 2005a).

Figure 2 : Evolution des émissions de carbone suie par les fuels fossiles et les feux domestiques de 1950 à 1997, avec indication de la part des feux domestiques (en MT de C).



4-2- Etablissement des inventaires d'émission par les fuels fossiles et les feux domestiques pour la période 1860-1997 (bases de données Bairoch (1860-1985) et UNSTAT (1950-1997), facteurs d'émission évolutifs au cours du temps). (Junker and Liousse, 2005b, en cours de rédaction)

Nous avons mis au point une méthode pionnière afin de bâtir les inventaires du passé et du présent pour les particules carbonées BC et OC (1860 à 1997). Pour plus de clarté, seuls les résultats de BC sont présentés ici. Néanmoins, le même travail mené pour BC et OC a fourni des inventaires pour ces deux polluants. Tout d'abord, les évolutions de consommations en fuels données par Bairoch (1991) pour différents pays ont été numérisées et introduites dans notre algorithme de calcul (ex. figure 3 pour le monde). Sur la figure 3, sont rappelées les consommations de fuels données par UNSTAT (pointillés). Cinq groupes de fuels sont documentés : le charbon (CL), le lignite, les fuels liquides (CR incluant diesel, essence, kérésonèse..), les fuels domestiques et la tourbe pour les années 1860, 1870, 1880, 1890, 1900, 1910, 1922, 1928, 1937, 1946, 1985. L'évolution des fuels de 1950 à 1997 est fournie par les données UNSTAT (voir paragraphe 1).

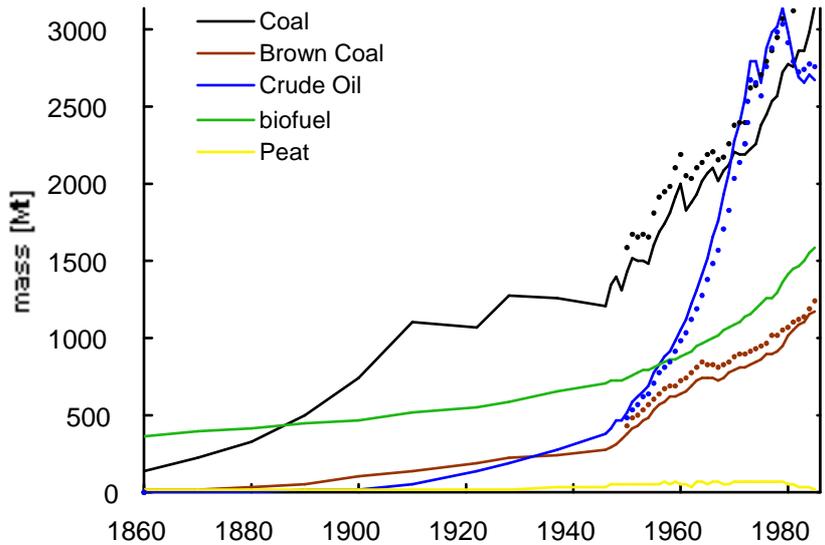


Figure 3 : Evolution des consommations de fuels de 1860 à 1985 (Bairoch, 1991).

- Nous avons vu que le choix de l'utilisation de certains fuels est un paramètre clé qui gouverne l'intensité des émissions. Pour le charbon, le lignite, les feux de bois et la tourbe, l'importance relative de l'utilisation domestique (D) et de l'utilisation industrielle (I) est donc cruciale. Nous avons donc cherché à estimer l'évolution du rapport I/D (figure 4). Pour le charbon et la tourbe, nous nous basons sur les tendances définies par les données UNSTAT (cf paragraphe 1) de 1970 à 1997, pour obtenir une décroissance logarithmique des valeurs jusqu'en 1860. Alors que cette décroissance est considérée comme régulière pour le charbon, reflétant la montée progressive de l'industrialisation au cours du siècle dernier, nous avons attribué au rapport I/D un palier dans la consommation de bois, suspectant une importance relative constante entre ces deux utilisations.
- Nous avons vu également que la connaissance du rapport des consommations essence/diesel et son évolution au cours du temps était cruciale, compte tenu des grandes différences entre les facteurs d'émissions essence/diesel. Ce rapport est obtenu à partir des données UNSTAT pour la période 1997 à 1950. Afin d'estimer les valeurs antérieures à 1950, nous nous sommes appuyés sur les tendances UNSTAT : le palier observé pour la période 1960-1950 a été prolongé jusqu'en 1920. La part de la consommation d'essence a été ensuite progressivement augmentée jusqu'en 1860 (figure 5).

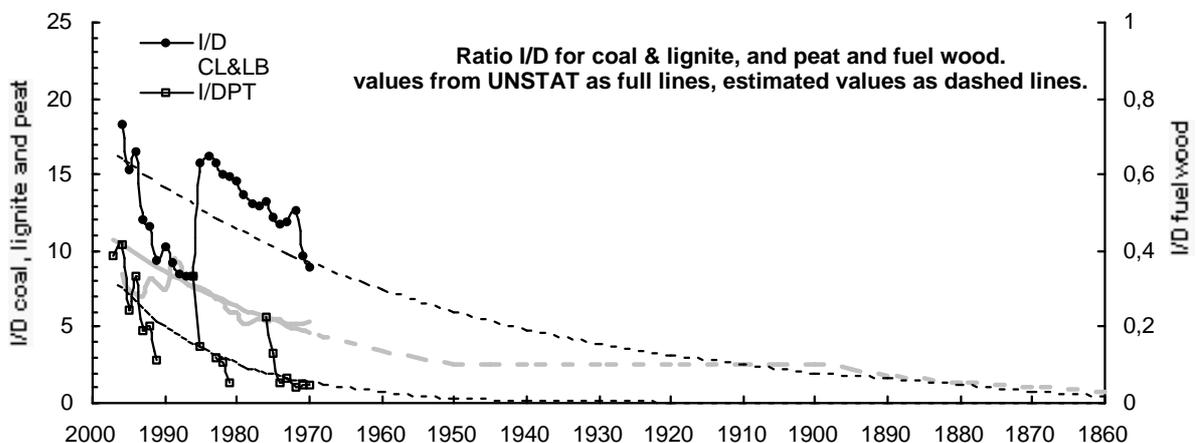
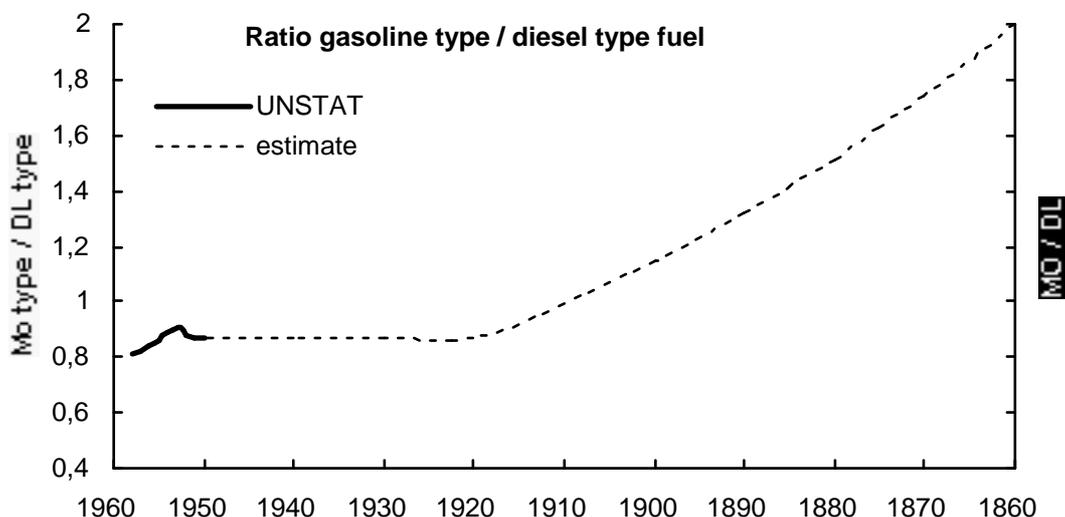


Figure 4 : Evolution des rapports « utilisation industrielle/domestiques » (I/D) pour le charbon, le lignite, les fuels domestiques et la tourbe.

Figure 5 : Evolution du rapport « essence/diesel » de 1960 à 1860.



Les valeurs et variations de EF pour les fuels de la nomenclature Bairoch (CL, CR, lignite ...) ont été estimées à partir des valeurs d'EF pour les fuels dans la nomenclature de Cooke et al., (1999) pour certains corrigés, des tendances décrites précédemment (voir figure 4 pour les variations industrie/domestique et figure 5 pour le rapport essence/diesel) et des facteurs de détérioration (Pertuisot, 1997) . Par exemple, le facteur d'émission du fuel X (EF) en 1938 est ainsi obtenu :

$$EF(X) = \text{Fact.détérioration}(1938) * \text{Racine}(1+I/D(1938)) / ((EF(\text{réf.industrie})^{I/D(1938)} * EF(\text{réf.domestique})))$$

On remplace I/D par le rapport essence/diesel pour les fuels liquides.

	developed		semideveloped		underdeveloped	
	CL	CR	CL	CR	CL	CR
1980	0,28	0,43	0,54	1,3	1,2	1,3
1970	0,3	0,45	0,58	1,3	1,2	1,3
1960	0,35	0,42	0,68	1,1	1,2	1,1
1950	0,48	0,45	0,93	1	1,2	0,98
1938	0,57	0,5	1,2	0,98	1,2	0,98
1930	0,67	0,5	1,3	0,98	1,3	0,98
1920	1,2	0,7	1,3	0,98	1,3	0,98
1913	1,4	0,76	1,4	0,87	1,4	0,87
1900	1,4	0,77	1,5	0,77	1,5	0,77
1890	1,5	0,68	1,5	0,68	1,5	0,68
1880	1,6	0,61	1,6	0,61	1,6	0,61
1860	1,8	0,48	1,8	0,48	1,8	0,48

Tableau 1 : Evolution des facteurs d'émission de BC pour le charbon (CL) et les fuels liquides (CR) pour les pays développés, semi-développés et en voie de développement, de 1980 à 1860.

EF scaled using Pertuisot [1997]

	CL(I)d	CL(D)d	DL(C)d	MO(C)c
1997	0,149	1,39	1	0,03
1990	0,18	1,39	1,21	0,033
1985	0,208	1,39	1,39	0,035
1980	0,24	1,39	1,61	0,038
1970	0,25	1,39	1,68	0,039

Tableau 2 : Exemple d'évolution des facteurs d'émission de BC en pays développés pour le charbon (CL), pour les utilisations domestiques (D) et industrielles (I) et pour le diesel et l'essence pour le transport.

Plus précisément, Pertuisot (1997) a fixé les valeurs et variations du facteur d'émission de 1980 à 1860 pour la combustion du charbon dans l'industrie. Ces variations ont ainsi permis de déterminer des facteurs de détérioration ensuite appliqués à tous les autres fuels. Les facteurs d'émission de référence de 1997 sont ceux de Cooke et al., (1999), sauf pour le charbon (cf Pertuisot), les fuels « naturels » (bois, déchets .. cf paragraphe 1) et le diesel (cf paragraphe 6). Aucun facteur de détérioration n'a été appliqué aux valeurs d'EF des pays en voie de développement, car celles-ci sont déjà considérées comme étant des valeurs seuil maximales. Les facteurs d'émission liées aux utilisations domestiques ont été estimés comme constants au cours du temps.

Le tableau 1 présente les valeurs de EF(BC) pour le charbon (CL) et les fuels liquides (CR incluant diesel et essence) pour les pays développés, semi-développés et sous développés de 1860 à 1980. Le tableau 2 retrace l'évolution des facteurs d'émission considérés pour les fuels UNSTAT.

Des inventaires d'émissions de carbone suie et de carbone organique par les fuels fossiles et les feux domestiques ont été ainsi obtenues à partir de cette méthodologie, de 1860 à 1997.

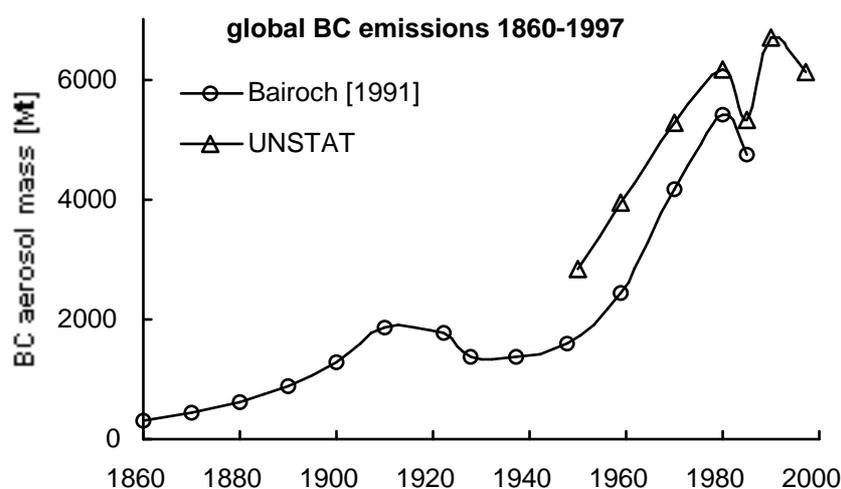


Figure 6 : Evolution des émissions de BC de 1860 à 1997.

Sur la figure 6, nous avons reporté les variations des émissions de BC de 1860 à 1985 obtenues à partir des données de fuels Bairoch et des facteurs d'émission évolutifs (ronds), ainsi que les variations de BC de 1950 à 1997 à partir des données UNSTAT et des facteurs d'émissions évolutifs (triangles). Les tendances observées à l'échelle globale sont comparables entre les deux jeux de données sur la période de recouvrement 1950-1985. Par contre, l'inventaire provenant des données Bairoch est systématiquement sous-estimé par rapport à celui obtenu à partir de la base de données UNSTAT. Compte tenu des informations disponibles dans les différents produits d'origine et des écarts existants entre les consommations de fuels (cf figure 3), notre recommandation est de considérer les données de Bairoch jusqu'en 1970 et celles d'UNSTAT à partir de 1970. Par ailleurs, jusqu'à présent (figure 2, paragraphe 1) les facteurs d'émission de BC et de OC étaient considérés comme des valeurs qui n'évoluaient pas sur la période 1950- 1997. La figure 7 montre toute l'importance de considérer l'évolution des facteurs d'émissions décrite dans le tableau 2.

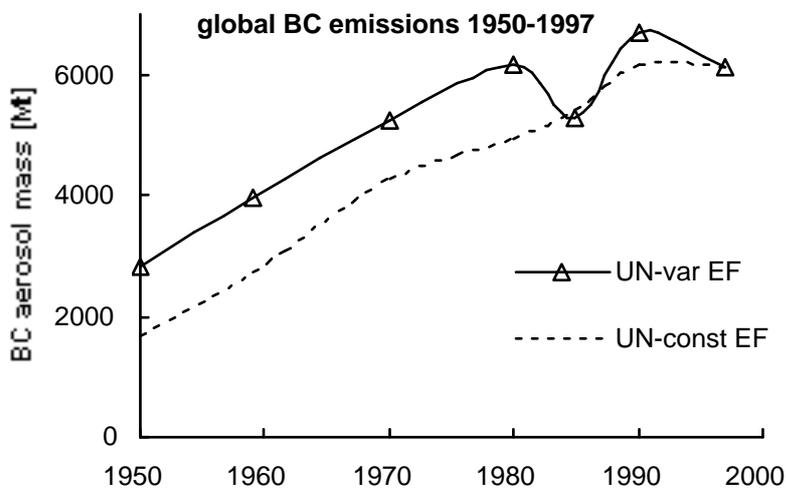


Figure 7 : Comparaison des émissions de carbone suie obtenues à partir de la base de données UNSTAT en prenant en compte des facteurs d'émission constant (pointillés) et des facteurs d'émission évoluant au cours du temps (ligne continue).

4-3- Etablissement des inventaires de feux de biomasse à partir de l'imagerie satellitale (Michel et al., 2005, Liousse et al., 2005b en préparation) :

Des cartes bi-mensuelles d'inventaires d'émissions de particules carbonées par les feux de biomasse ont été construites pour l'Asie, pour la période Mars-Mai 2000 et 2001. Les figures 8 et 9 présentent ces résultats pour le carbone suie (BC Michel). Ces données ont été comparées à l'inventaire d'émission couramment utilisé par la communauté internationale, inventaire construit à partir des pixels de feux (et non des surfaces brûlées comme dans notre étude). Les émissions de BC sont sensiblement les mêmes entre les 2 inventaires, ce qui n'est qu'un hasard. Par contre, la distribution spatiale est totalement différente: dans l'inventaire Carmichael et en début de campagne, les émissions sont prédominantes en Thaïlande, alors que les zones d'émissions les plus intenses sont situées au nord de la Chine dans l'inventaire Michel et al. (2005). En milieu et fin de campagne, l'inventaire Michel et al. montre d'importantes émissions au nord de la zone d'étude, émissions non décelées par Carmichael. De grandes différences apparaissent également au niveau temporel. La figure 9 montre que l'inventaire Carmichael surestime et sousstime les émissions en début et en fin d'expérience, respectivement.

Cette comparaison fait apparaître les limites de l'utilisation des pixels de feux dans l'établissement des cartes d'inventaires d'émissions par les feux de biomasse (inventaire

Carmichael), tout en soulignant l'intérêt de la méthode retenue dans notre étude et ses faiblesses. Elle met également en évidence la méthode à retenir pour déterminer un inventaire de feux de biomasse quand dispose de cartes de surfaces brûlées et de pixels de feux. Les cartes de surfaces brûlées seraient à considérer pour obtenir des données de biomasse brûlée réalistes, excepté pour les zones de forêts denses humides où l'on devrait utiliser les cartes de pixels de feux (Michel et al., 2005). Enfin, une comparaison avec les émissions de l'année 2000, obtenues sur cette zone avec la même procédure souligne l'importance des variations interannuelles (Michel et al., 2005).

Par ailleurs, ce travail a également été mené en Afrique, où nous avons dérivé les inventaires d'émissions avec une résolution temporelle mensuelle, de 1981 à 1991 et pour 2000 (article en rédaction, Lioussé et al., 2005b).

Il est important de noter que la construction de ces inventaires fournit des informations cruciales sur l'étude de l'interannualité de ce type d'émission et bien sûr, pour les projections passées et futures. La variabilité de ces émissions n'est pas simplement liée aux variations de population, comme pour les émissions par les fuels fossiles, mais intervient aussi de manière plus complexe, des facteurs climatiques.

Figure 8 : Comparaison de la distribution spatiale des émissions de carbone suie émis par les feux de biomasse à partir des pixels de feux (BC Carmichael) et des surfaces brûlées (BC Michel).

BC Carmichael 20-31 March 2001

BC Michel 20-31 March 2001 (BCa)

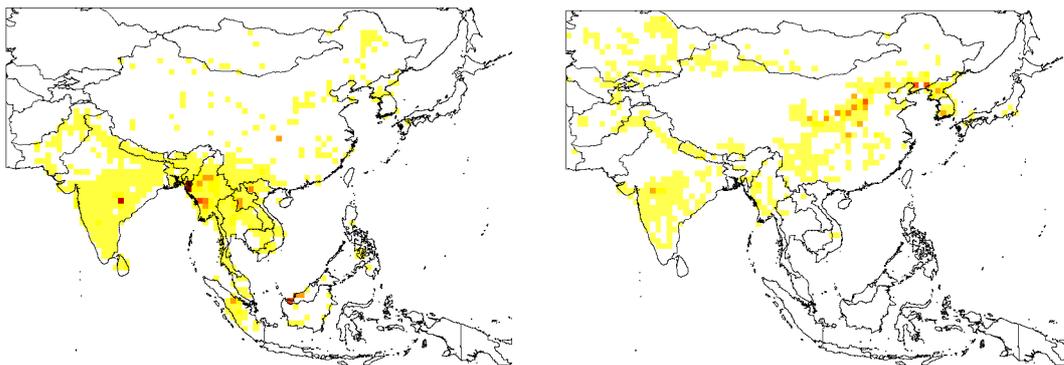
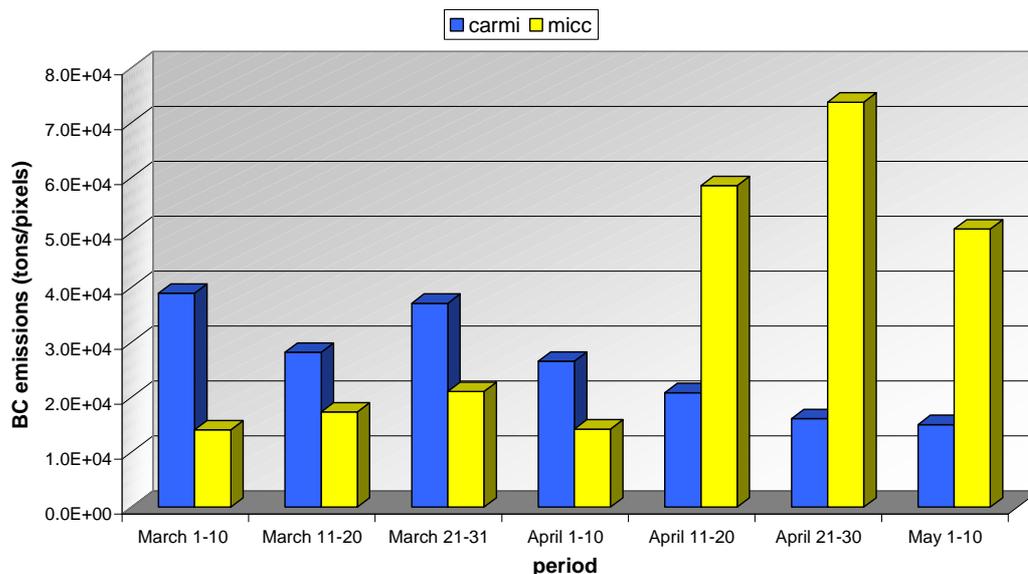


Figure 9 : Comparaison entre les émissions de BC en Asie de Mars à Mai 2001

Comparison of BC emissions for Carmichael and Michel inventory



Compte tenu de ces résultats, il est donc maintenant essentiel de développer un travail commun entre les groupes utilisant les différents outils satellitaires, afin de dériver les inventaires du passé et du futur liés aux sources de feux de biomasse : c'est l'objet du programme GICC2 de Claire Granier, auquel nous participons.

4-4- Estimations des inventaires d'émissions de BC et de OC pour 2030 à partir des données socio-économiques de P. Criqui.

4-4-1 Rappel des estimations obtenues à partir des données IPCC-SRES (Lioussé and Cachier, 2005).

Des inventaires d'émissions de BC et OC ont été établis pour 2020 et 2100 pour des scénarios proposés dans le cadre de IPCC-SRES. Deux grandes familles de scénarios ont été étudiées permettant de décrire un scénario catastrophe où il n'y aurait pas de conscience environnementale dans les pays développés ni de transfert de technologie vers les pays en voie de développement (scénario A2) et un scénario idéal (B1). L'évolution des consommations de fuels liquides, solides et gazeux est donnée par SRES-IPCC de 1989 à 2020 puis 2100 et appliquée aux données de consommations de fuels détaillées de la base de données UNSTAT de 1989, afin d'obtenir les consommations de fuel pour les scénarios A2 et B1. Par contre, l'évolution de l'utilisation des fuels (industriel/domestique/transport) et les valeurs de facteurs d'émission du « futur », qui sont des paramètres clés pour déterminer les émissions particulières, sont estimés à partir des données actuelles et des informations sur les scénarios. La figure 10 présente les émissions de BC pour 1989, 2020A2, 2100A2 et 2100B1. Il est intéressant de noter l'importance relative de certaines régions comme la Chine et l'Afrique du Sud dans le cas des scénarios A2.

4-4-2 Inventaires d'émissions de BC et de OC à partir des données du modèle POLES pour 2030 (Junker et Lioussé, 2005a).

Compte tenu de l'intérêt de l'étude précédente, et face aux nombreuses hypothèses avancées sur des paramètres cruciaux et l'absence de feux domestiques d'importance dans les pays en

voie de développement, P. Criqui et S. Mima nous ont donné accès à des projections futures plus réalistes et mieux documentées. Les résultats du modèle énergétique POLES développé par cette équipe et permettant de traduire en termes de bilans énergétiques par région, la nouvelle projection économique mondiale du centre CEPII à l'horizon 2030 (Criqui et Kouvaritakis, 2000 ; Blanchard et al., 2000 ; Blanchard et Criqui, 2000) ont ainsi été utilisés.

Contrairement aux scénarios SRES de l'IPCC précédemment décrits, qui proposaient 4 grandes familles de scénarios extrêmes, ces projections distinguent clairement :

- Un scénario de référence à 2030 (2030ref) qui rend compte d'un état du monde sans politique climatique forte (appelé aussi « business as usual » scénario). Hors pays pétroliers, cette projection considère que les taux de croissance des PIB par tête convergent vers un taux unique stationnaire, égal au taux de croissance du progrès supposé évoluer lentement dans les pays en voie de développement et s'accélérer plus rapidement dans les pays industrialisés. Quant aux pays pétroliers, la croissance est liée à la demande mondiale de pétrole.

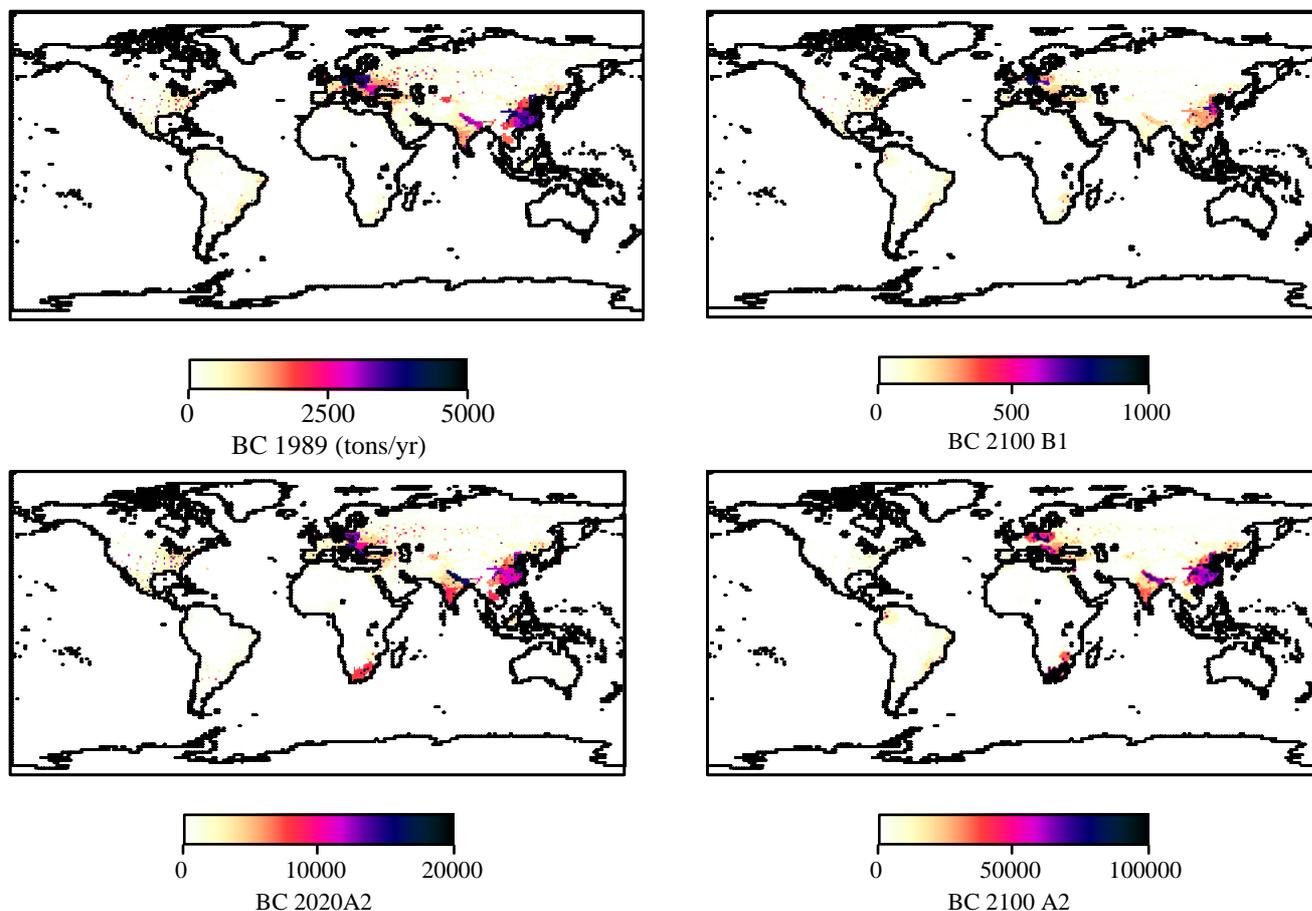


Figure 10 : Emissions de BC pour les scénarios SRES-IPCC.

- Un scénario 2030ccc, incluant des variations de politique climatique, pour lesquelles le modèle fournit une image cohérente en termes économiques des changements structurels induits dans les systèmes énergétiques des différentes régions du monde. Il s'agit ici d'un inventaire tenant compte des pénalités mises en place par le protocole de Kyoto afin de réduire les émissions des pays industrialisés de -5.5% par rapport au niveau de 1990, ce qui induit par conséquent une différence de 10 GtC par rapport au scénario de référence 2030ref.

- Des inventaires d'émissions de BC et de OC ont donc été établis pour les années 2000, 2010, 2020 et 2030 pour « ref » et « ccc ».

Contrairement à l'étude décrite au paragraphe 4-1, le modèle POLES fournit les projections détaillées de consommation des différents fuels (21 fuels semblables aux fuels UNSTAT incluant fuels fossiles et « biofuels » (bois, charbon de bois etc..)) mais également leur répartition dans les secteurs domestiques, industriels et du transport. Nous avons donc utilisé les fuels UNSTAT de 1997 comme référence et appliqué les facteurs d'évolution donnés par POLES pour obtenir les consommations de fuel par secteur d'activité pour les années 2000, 2010, 2020 et 2030. Il est important de noter que nous avons choisi cette méthodologie, car les données UNSTAT avaient une meilleure résolution spatiale (255 pays) que le modèle POLES (24 pays et 14 régions).

L'estimation des facteurs d'émission pour les années futures a été ainsi établie :

- les valeurs des facteurs d'émission pour les scénarios « ref » sont les mêmes que celles déterminées pour 1997 ;
- Les valeurs des facteurs d'émissions pour les scénarios « ccc » pour les pays développés ont été estimées, compte tenu de l'évolution des normes technologiques prévues par le modèle IIASA-RAINS. Dans ce cadre, les facteurs d'émissions des « biofuels » (bois, charbon de bois etc..) sont réduits de 60%, ceux des autres fuels solides (charbon, lignite etc..) de 50%, contre 55% pour les fuels liquides (essence, diesel etc..) ;
- Les valeurs des facteurs d'émissions pour les scénarios « ccc » pour les pays semi-développés sont considérées être les mêmes que celles utilisées en 1997 pour les pays développés ;
- Les valeurs des facteurs d'émissions pour les scénarios « ccc » pour les pays en voie de développement sont considérées les mêmes que celles utilisées en 1997 pour les pays semi-développés.

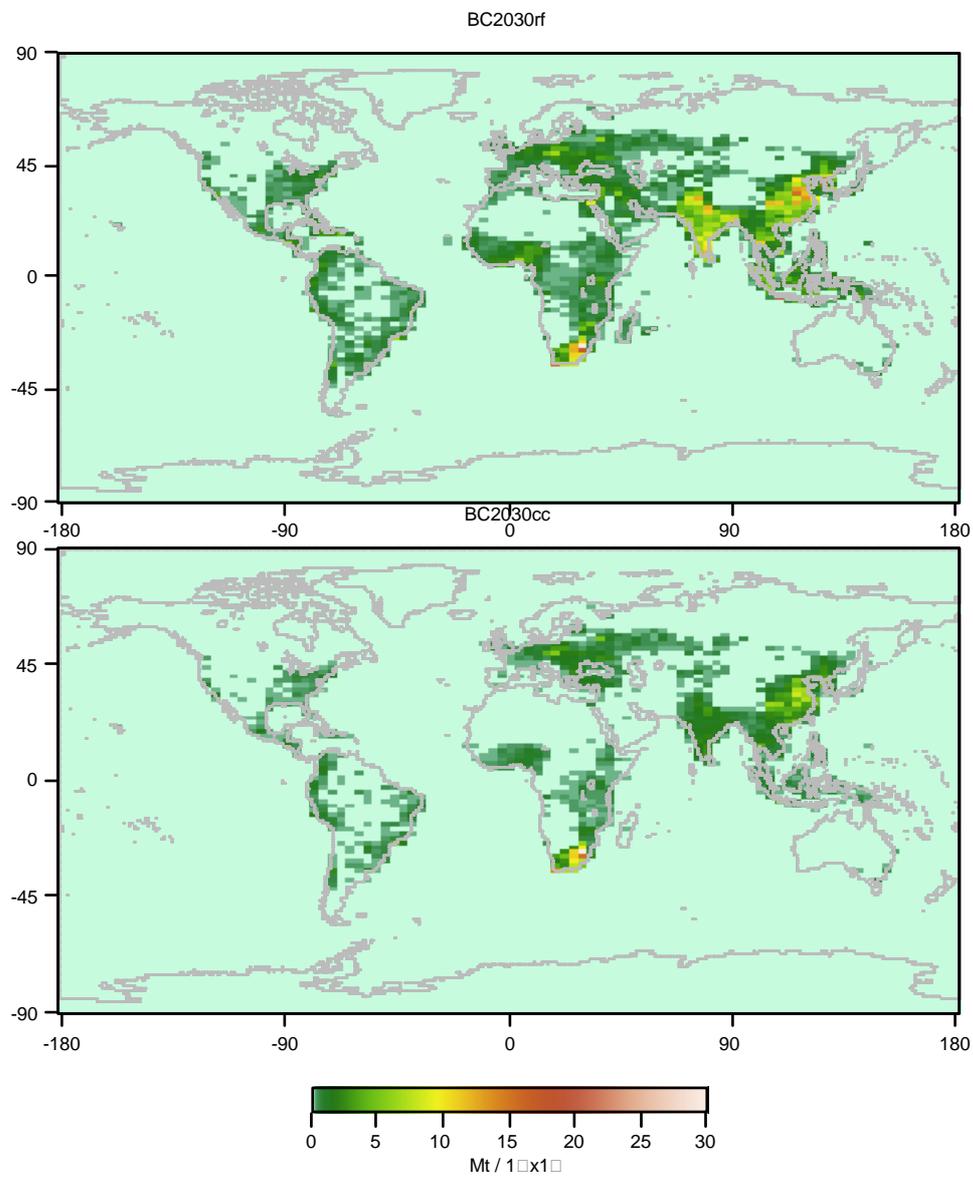
La figure 11 présente les répartitions spatiales des émissions de carbone suie par les fuels fossiles et les biofuels pour 2030, dans le cas des scénarios POLES ref et ccc. Une diminution des émissions de BC et de OC est observée entre 2000 et 2030 en Europe et en Amérique du Nord dans les deux types de scénarios. Cependant, dans le scénario ref (tout comme dans les scénarios IPCC) les émissions augmentent fortement en Chine, Inde et Afrique du Sud. Le tableau 3 présente un bilan des estimations des émissions en 2030 pour le carbone suie, rappelant les résultats obtenus dans l'étude décrite au paragraphe 4-1.

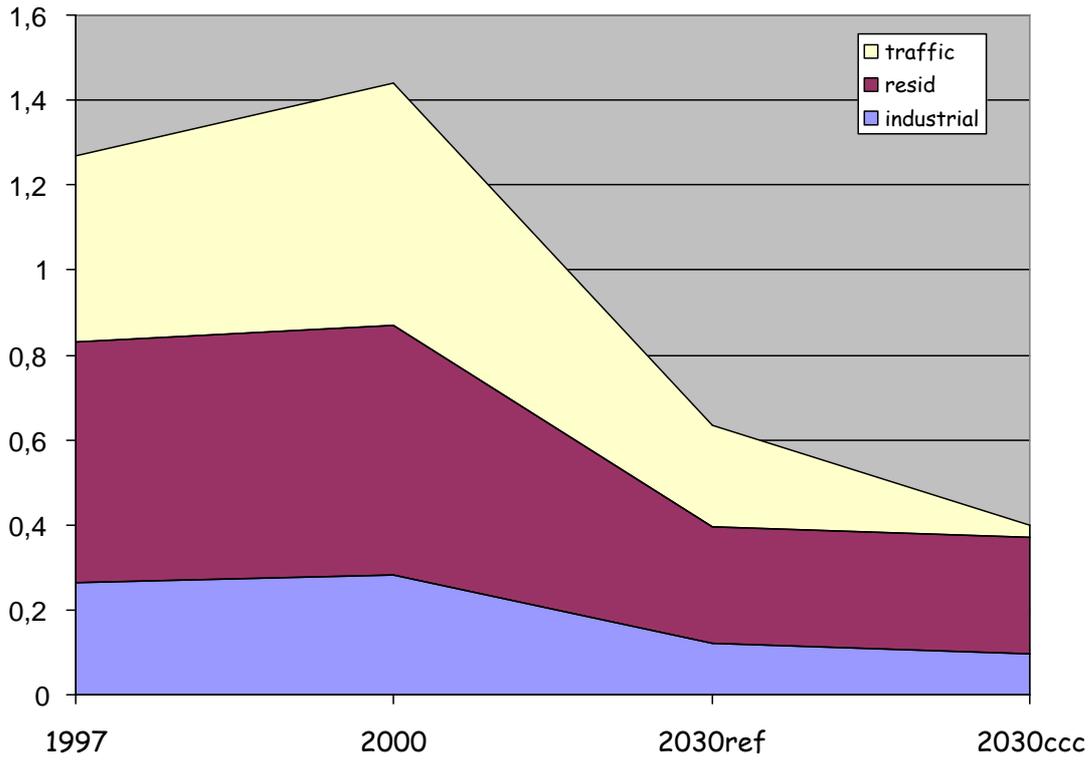
TgC/yr	POLES (ce travail)	TgC/yr	IPCC(Liousse et Cachier 05)
1997	10.2	1997	5.6
2000	12.4		
2030ref	13.7	2020A2	25
2030ccc	5.8	2100A2	100
		2100B1	0.6

Tableau 3 : Estimation des émissions de carbone suie par les projections 2030 POLES (cette étude) et rappel des précédents résultats. Il est important de noter que les estimations IPCC ne tiennent compte que des fuels fossiles alors que celles de POLES incluent fuel fossiles et biofuels.

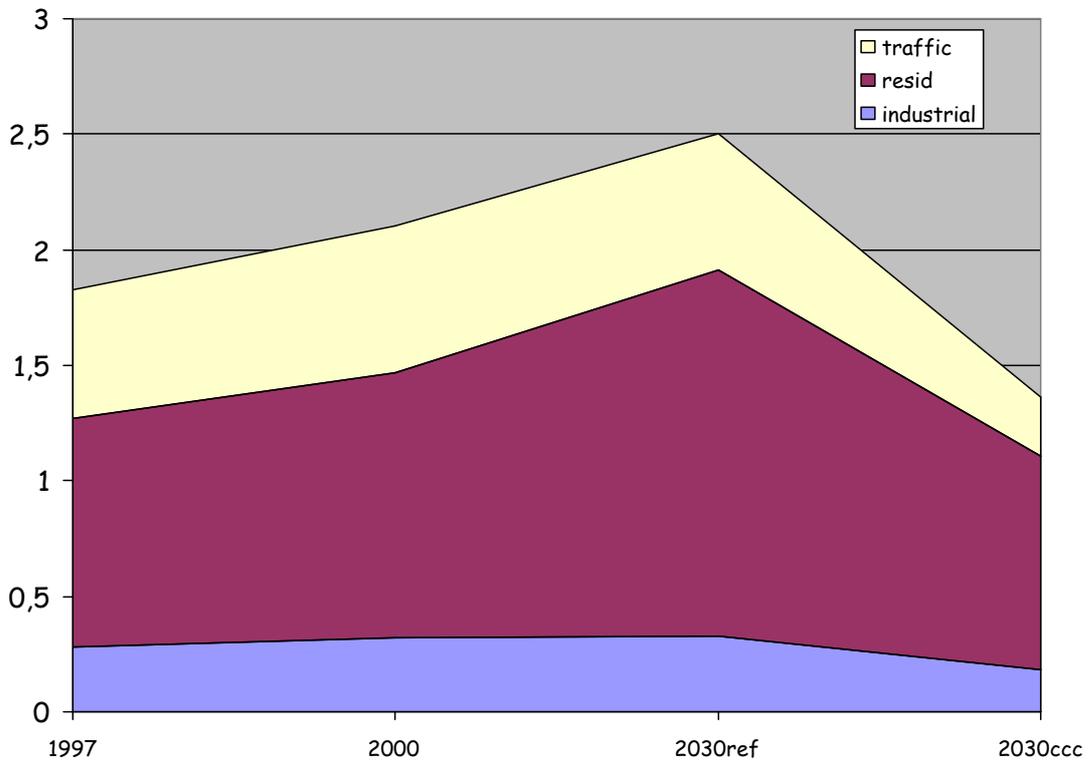
Cette étude fait ressortir des projections à l'horizon 2020-2030 beaucoup plus réalistes par rapport aux résultats précédemment obtenus, ceci grâce à la meilleure documentation des répartitions de fuels par activité dans le modèle POLES. Il est important également de mentionner l'impact des contrôles d'émissions effectués entre les scénarios ref et ccc. Comme le montre la figure 12 qui présente l'évolution des émissions par secteur d'activité de BC de 1997 à 2030 et ce pour les deux scénarios, ces contrôles peuvent être très efficaces en certaines régions. Par exemple, en Europe, les émissions liées au trafic deviennent

Figure 11 : Emissions de carbone suie en 2030 (haut : scénario ref, bas : scénario ccc)





Europe



Chine

Figure 12 : Evolution des émissions de BC (en TgC) par secteur d'activité de 1997 à 2030.

négligeables dans le cas d'un scénario contrôlé, alors qu'en Chine, la diminution des émissions observée entre les scénarios ref et ccc est la même, quel que soit le secteur d'activité.

4-5- Révision des facteurs d'émission et caractérisation des particules d'aérosol carboné à l'émission (tailles et propriétés) (Guinot et al., 2005, en préparation, Guillaume et Liousse, 2005 en préparation).

Nous avons organisé une campagne expérimentale dans la chambre de combustion du LA avec des mesures physicochimiques caractérisant des combustions peu connues comme les feux domestiques indiens et chinois. A cette fin, nous avons reconstitué un foyer traditionnel utilisé en Asie et nous y avons brûlé du charbon, du bois, des bouses d'animaux etc..., fournis par des collègues indiens et chinois. Nous avons ainsi pu caractériser les émissions d'aérosol (masse totale, composition organique et minérale, éléments trace, taille des particules, rapport BC/OC à l'émission), et les quantifier par des mesures de facteurs d'émission. Des mesures de gaz comme les COV ont été également effectuées. Un papier est en préparation, présentant les résultats novateurs ainsi obtenus. La figure 9 présente les distributions en taille des particules de carbone suie. Il est notable de voir que les feux domestiques chinois employant du charbon, produisent principalement des suies submicroniques, contrairement à ce qui était attendu : les « fly ashes » classiques pouvant atteindre 40 microns de diamètre ne sont donc pas prédominants dans ce type de combustion. Le tableau 4 présente les valeurs de facteurs d'émission de BC et d'OC obtenues au cours de cette campagne ; les valeurs obtenues après une étude bibliographique exhaustive y ont été ajoutées pour comparaison (Junker and Liousse, 2005ab). De manière générale, les valeurs de EF(OC) obtenues au cours de notre expérience dans le cas des combustions de type « smoldering » (combustion incomplète avec mauvaise oxygénation et à basse température) sont beaucoup plus élevées que celles données dans la littérature. Il en est de même pour les valeurs de EF(BC) pour la combustion du bois domestique, des bouses d'animaux et du charbon. Ce n'est que pour la combustion du charbon de bois, que les expériences présentent des valeurs de EF inférieures aux données de la littérature. L'ensemble de ces valeurs, tout comme celles obtenues par d'autres auteurs, constituent des mesures isolées et montrent que la gamme des EF est grande pour chaque type de fuel, ces variations étant dues principalement aux types de combustion reproduites (plus ou moins bien oxygénées et à plus ou moins haute température), aux combustibles plus ou moins secs mais également à la méthode d'analyse de carbone utilisées. Par exemple, cette étude utilise la méthode thermo-optique IMPROVE, alors que Venkataraman et al. (2005) emploient la méthode thermo-optique NIOSH. Ces méthodes, soumettant les échantillons à des rampes de température très différentes, ne mesurent pas la même chose et des études d'intercomparaison sont en cours (Cachier et al., 2004).

Dans un souci de meilleure intégration des données de la littérature et des données expérimentales isolées et parce qu'on ne peut pas caractériser toutes les combustions, nous avons cherché à mettre au point une relation théorique permettant de déterminer les valeurs de facteurs d'émission de manière plus systématique. Compte tenu des expériences passées sur les feux (Cachier et al., 1993) et des confirmations apportées par notre expérience, nous avons établi une relation mettant en jeu la qualité de la combustion par l'intermédiaire du rapport CO/CO₂, le facteur d'émission EF et les variations relatives de BC et de OCp. La figure 10 présente les covariations de CO/CO₂ et de BC/TC pour les différentes expériences de combustion menées au cours de cette étude. Quand la combustion devient incomplète, alors le rapport CO/CO₂ augmente et le rapport BC/TC diminue.

Mass size distribution of Black Carbon

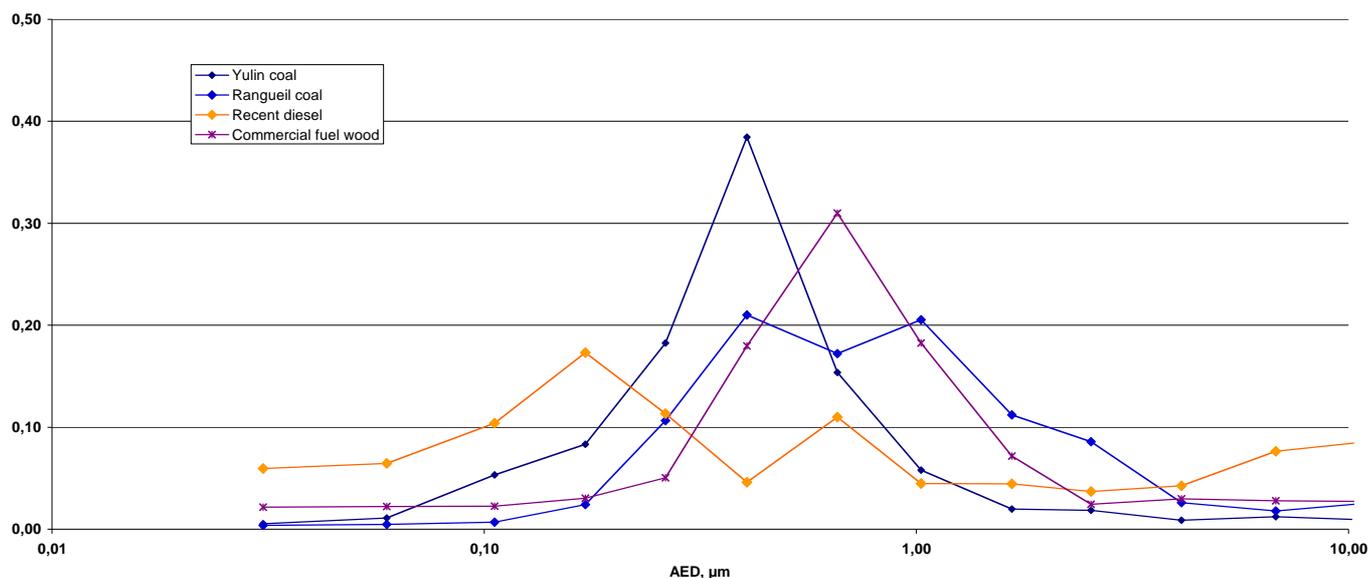
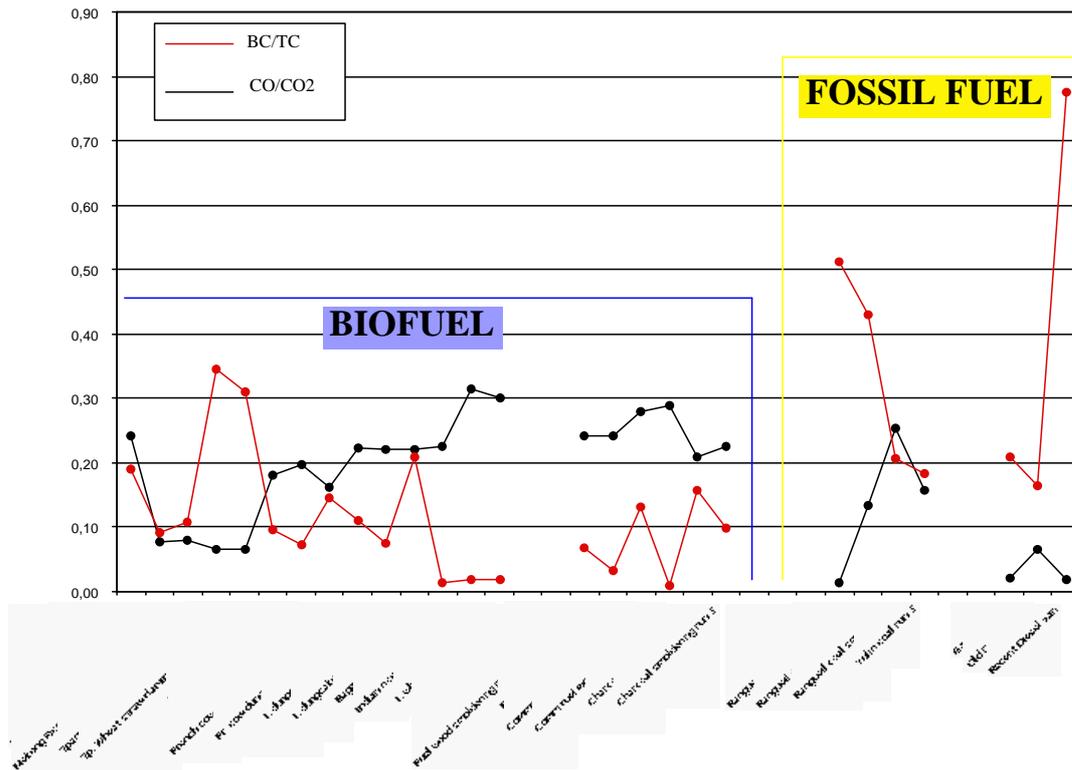


Figure 9 : Distribution granulométrique du BC pour différentes combustions (expérience de Lannemezan, 2002)

Tableau 4 : Facteurs d'émission (EF gC/kgdm) obtenus dans les différentes expériences de combustion.

	EF(BC) exp.	EF(OC) exp.	EF (BC ; OC) (Junker and Lioussé, 2005a)
Straw burning Flaming	0.56	2.7	0.7 ; 3
Straw burning Smoldering	2.5	31.7	1.25 ; 8
Indian dungcake Flaming	0.61	5.74	
Indian dungcake Smoldering	7.1	41.0	1 ; 12.5
Bagasse Smoldering	1.5	99.2	0.95 ; 8
Fuelwood Smoldering	6.05	64.3	1 ; 3.6
Charcoal Smoldering	0.12	0.73	0.75 ; 2.25
European coal Flaming	16.9	21.1	1.4 ; 2.92
European coal Smoldering	4.4	16.9	1.4 ; 2.92
Chinese coal Smoldering	4.9	21.8	2.3 ; 4
Essence	0.02	0.065	0.03 ; 0.07
Diesel (voiture neuve)	0.53	0.15	1 ; 0.5
Diesel (voiture très ancienne)	1.2	6.2	2.5 ; 1.25

Figure 10 : Covariation du rapport CO/CO₂ et du rapport BC//TC pour différentes combustions.



De même (ceci n'est pas montré ici), il existe une relation entre les variations de CO/CO₂ et celles de EF(BC). Ces relations, établies à partir de nombreuses campagnes expérimentales, nous permettent à présent de déterminer les valeurs de EF(BC), ainsi que le rapport BC/OC à partir des mesures de CO/CO₂ qui sont la plupart du temps disponibles, alors que celles de EF(BC) et BC/OC ne sont pas forcément mesurées. Par exemple, les mesures de CO/CO₂ effectuées par IIASA et EPA pour les pays développés pour différents types d'industries ou de chaudières, de véhicules etc.. et ce pour des procédés plus ou moins contrôlés, nous permettent d'obtenir les EF des particules carbonées correspondantes.

4-6- Comparaison des inventaires existant au niveau international et analyse de leurs différences.

L'établissement des inventaires d'émissions des particules carbonées repose, comme vu, sur les consommations de fuels et le choix des facteurs d'émission associés. La partie « feux de biomasse » a été décrite au paragraphe 3. Nous nous intéressons maintenant aux comparaisons portant sur les émissions par les fuels fossiles et les biofuels. Les distributions spatiales des consommations de ces fuels sont données par des organisations internationales comme l'« IEA » (International Energy agency) ou les Nations Unis (base de données UNSTAT) à l'échelle globale, IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) ou TNO à l'échelle européenne et par des statistiques nationales et régionales à l'échelle régionale. Les facteurs d'émissions dépendent de la nature du fuel et des processus de combustion liés aux utilisations qui en sont faites. Le niveau de développement des pays et par conséquent, leurs normes de régulation des combustions, sont aussi déterminantes. Certains auteurs préfèrent traiter l'ensemble des détails retenant des descriptions exhaustives des activités, des

technologies et des contrôles. Dans ce cas, ils sont amenés à faire des hypothèses pour les pays en voie de développement. D'autres ont construit des inventaires appliquant des facteurs de réduction. Il y a par exemple trois grands groupes d'activité (industries/résidentiel/trafic) et trois types de pays (les pays développés/semi-développés/en voie de développement) et leur PIB permet de fixer leur niveau « technologique ».

Or, les inventaires existants présentent de grandes différences au niveau spatial, mais aussi en bilans. Pour simplifier, il existe deux types d'inventaires : ceux du groupe Liousse et al., reposant initialement sur les travaux de Cooke et al., (1999) et de Liousse et al., (1996) et ceux du groupe Bond, Streets et al. (Bond et al., 2004, Streets et al., 2005) dans lequel nous pouvons inclure les travaux des chercheurs de IIASA, de chercheurs de l'Institut Indien de technologie de Bombay (Reddy et Venkataraman., 2002, Venkataraman et al., 2005) et du TNO (Shaap et al., 2004). En effet, ces études ont retenu des valeurs de facteurs d'émission très proches de celles de Bond et al. 2004.

Dans le cadre de ce projet GICC, nous avons organisé en juin 2002 un atelier de travail international rassemblant les principaux spécialistes d'inventaires d'aérosol carboné ((H. Cachier, T. Bond, J. Penner, M.S. Reddy, G. Parween, R. Gadi, G. Carmichael, C. Michel, R. Rosset et C. Liousse : cf annexe 2 : l'ordre du jour de cet atelier). Les échanges qui ont eu lieu pendant ces réunions ont permis de mettre en évidence les différences, que ce soit sur le choix des définitions à retenir pour ce type de particules, sur les méthodes d'analyse du carbone, sur le choix des facteurs d'émission, le choix de la taille des particules à l'émission, mais également sur la méthode utilisée pour l'obtention des inventaires. Suite à ce workshop, une intercomparaison détaillée a été menée montrant les différences obtenues entre les deux inventaires (Liousse et al., 2004, 2005a et Bond et al., 2004). Si l'on effectue cette comparaison au niveau global et pour l'année 1996, les émissions de BC et de OCp sont de l'ordre de 4.6 et 8.9 TgC, respectivement pour Bond et al. (2004) et de 8.8 et 15.1 TgC pour Liousse et al. (2005a) (voir le Tableau 5). On peut voir dans ce tableau que les émissions issues de l'inventaire Bond sont deux fois plus faibles que celles dans notre inventaire global. Ces différences proviennent du choix des EF pour les différentes sources, et plus particulièrement de l'application ou non des normes régulatrices. Le tableau 6 précise les valeurs moyennes des EF choisis par les deux auteurs. Afin de souligner l'importance des choix d'EF, nous avons dérivé des inventaires d'émissions de BC à partir des mêmes consommations de fuels (celles de UNSTAT), mais pour les deux jeux de données d'EF présentés dans le tableau 2. La comparaison de ces inventaires (figure 11) montre d'importantes différences aux niveaux global et régional. De manière générale, les émissions de BC par le diesel et le lignite sont toujours supérieures, en utilisant les EF de Liousse par rapport à Bond. Par contre, il ya peu de différence pour les émissions de BC relatives au charbon, tout particulièrement en Inde. Les nouveaux résultats expérimentaux décrits au paragraphe 5 semblent indiquer que les valeurs d'EF(BC) pour les émissions diesel choisies par Liousse et al., sont situées dans la partie haute de la gamme des valeurs (elles seraient surestimées). Par contre, les valeurs de EF(BC) pour l'utilisation industrielle du charbon seraient sous estimées dans Bond et al.. Quant aux émissions par le lignite, et face aux manques de données expérimentales, de nouvelles expériences sont attendues.

TgC/yr	BC FF	PPOC FF	BC BF	PPOC BF	BC BB	PPOC BB
Liousse	5.92	6.4	2.88	8.7	4.3*	8.2**
Bond	3	2.4	1.6	6.5	3.3	25***

Tableau 5 : Bilan global de BC et de PPOC pour les émissions de fuels fossiles (FF), de biofuel (BF) et de feux de biomasse (BB) à partir de Liousse et al. (1996), Liousse et al. (2005), Junker and Liousse (2005a) et Bond et

al., (2004).

*inclut les feux de savane, les feux agricoles de terrain, les feux de forêts tropicaux (Lioussé et al., 1996) et boréaux (Lavoué et al., 2000).

**Concerne les particules organiques d'origine primaire seulement, et inclut feux de savane, feux agricoles de terrain, feux de forêts tropicaux (Lioussé et al., 1996) et boréaux (Lavoué et al., 2000).

***ce bilan présenté par Bond porte sur les émissions de carbone organique total.

<i>EF (BC) gC/kgfuel</i>	<i>Bond</i>	<i>Lioussé</i>
Industrial Coal (D-ed)	0.001-0.006	0.149
Industrial Coal (D-ing)	0.28-4.5 (1.12)	1.10
Industrial Lignite (D-ed)	0.015-0.03	0.3
Industrial Lignite (D-ing)	0.09	1.98
Traffic Diesel (D-ed)	0.85	2
Traffic Diesel (D-ing)	2-7	10
Traffic Gazoline (D-ed)	0.04	0.03
Traffic Gazoline (D-ing)	0.14-0.6	0.15

Table 6 : Facteurs d'émissions de BC pour certains fuel fossiles selon Bond et al. (2004) et Lioussé et al. (2004b). (D-ed : pays développés ; D-ing pays en voie de développement).

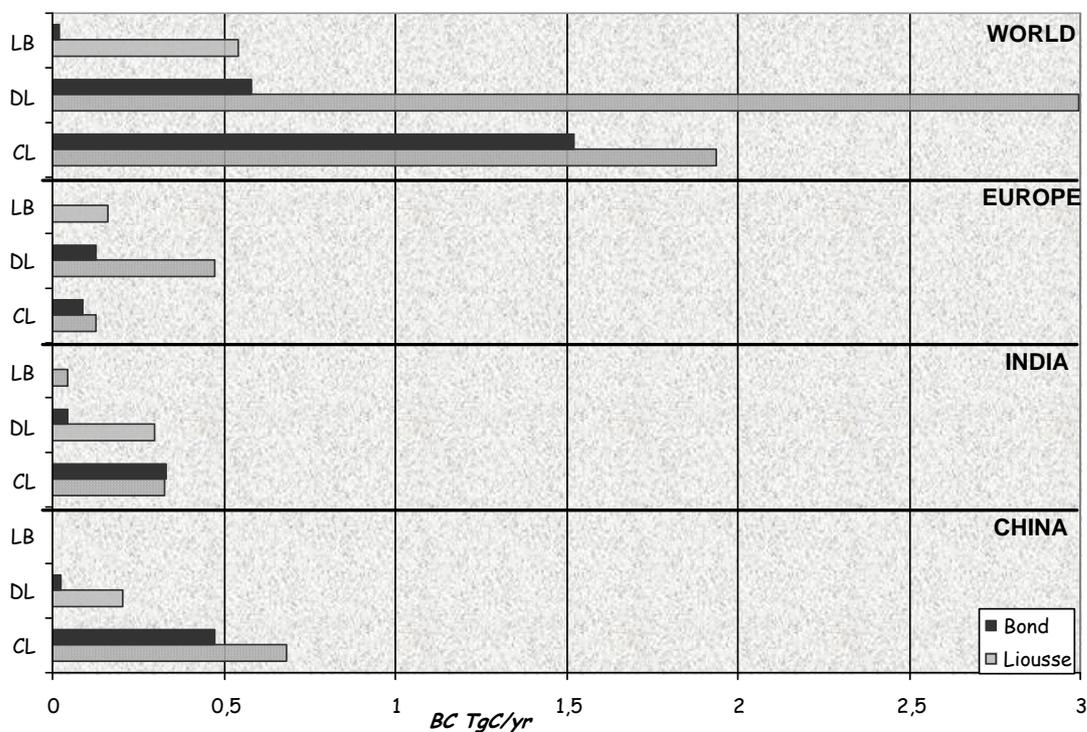
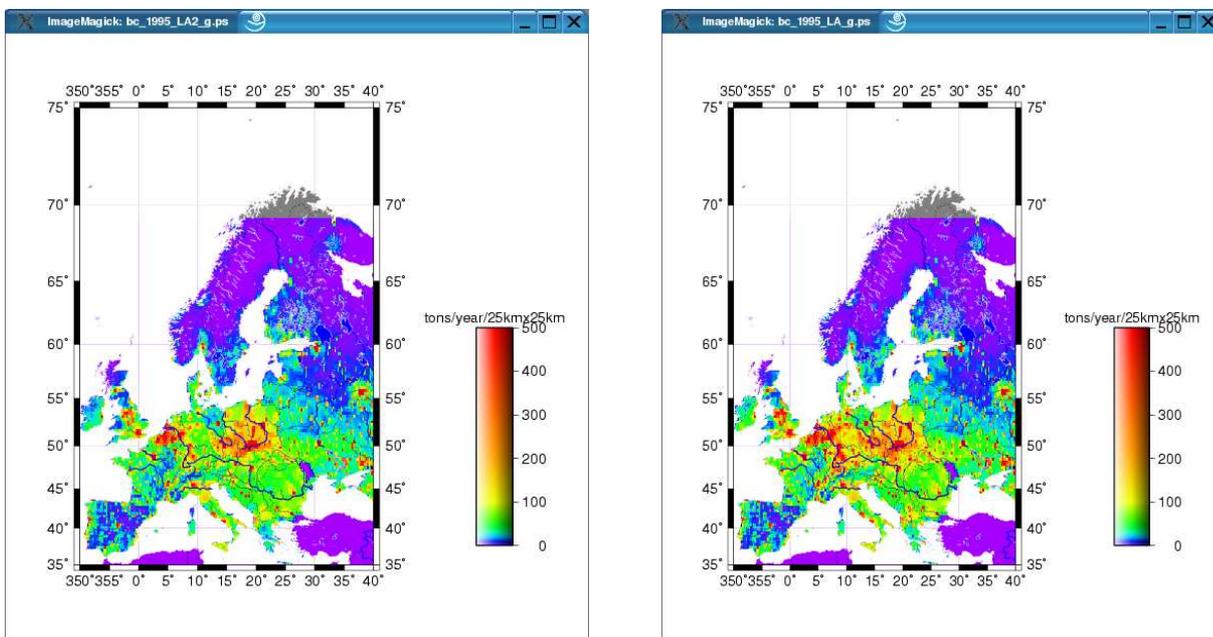


Figure 11 : Comparaison des inventaires d'émission de carbone suie pour le monde, l'Europe, l'Inde et la Chine obtenus pour les fuels fossiles en 1996 (CL = coal, LB= Brown Coal et DL = Diesel). Les consommations de fuels sont données par UNSTAT et les facteurs d'émissions, ceux du tableau 2.

Nous avons également effectué un zoom sur l'Europe afin de tester ces hypothèses à plus fine échelle. Différents inventaires d'émission pour le BC et OCp à l'échelle européenne ont ainsi été développés avec une résolution spatiale de 25km par 25km, tenant compte des consommations de fuels donnés par IIASA et permettant d'inclure les normes en vigueur, que ce soit sur le trafic (Euro 1, 2 ..) ou sur les unités industrielles de combustion. Les figures 12 montrant les émissions européennes de BC pour les années 1995, avec ou sans norme (Guillaume et Lioussé, 2005) soulignent encore une fois l'importance des différences liées au choix des EF. Le budget de BC est de 1.25 et 0.77 TgC pour les scénarios avec et sans norme, respectivement. La valeur obtenue avec l'inventaire global pour l'Europe est de 1.5TgC : en accord avec le scénario non normé du zoom Europe, le budget de l'inventaire global se situe dans la partie haute de la gamme d'estimations. Par contre, l'inventaire européen développé par Shaap et al. (2004) à partir des EF de Bond et al. (2004) fournit un budget annuel de 0.48TgC (partie basse de la gamme avec norme).

Figure 12 : Comparaison des émissions de BC à l'échelle de l'Europe en 1995 (à gauche émissions normées, à droite, émissions non normées)



Face à de tels écarts, il est encore difficile aujourd'hui de proposer des recommandations pour l'établissement de ces inventaires. L'insertion des différents inventaires dans des modèles off line de transport montre que les comparaisons modèles-mesures des concentrations de BC sont plus satisfaisantes quand on utilise un inventaire dont le budget est situé dans la gamme hautes valeurs (résultats de Lioussé et al., 2004, Lioussé and Cachier, 2005 avec le modèle

TM3) par rapport à une gamme basses valeurs (résultats de Shaap et al., 2004 avec le modèle LOTOS).

La poursuite des travaux d'intercomparaison est indispensable: elle est prévue dans le cadre de GEIA (Global Emissions Inventory Activity) et du réseau d'excellence ACCENT pour l'année 2005.

Ces écarts se retrouvent également dans les estimations des projections futures où l'on effectue à la fois des hypothèses sur les consommations de fuels, mais aussi sur les valeurs d'EF. Les estimations de BC à l'horizon 2030 réalisées récemment par Streets, Bond et al., 2005 sont comprises entre 5.3 et 7.3 TgC suivant le type de scénario retenu, alors que notre étude propose une gamme entre 5.8 et 13.7 TgC (cf paragraphe 4.2). Les différences s'amplifient en 2100 : Rao et al. (2005) évaluent le budget de BC à 4TgC pour le scénario A2, alors que Liousse et al. obtiennent une valeur de 100 TgC.

5- Conclusions :

Outre les résultats significatifs obtenus et développés ci-dessus, ce programme GICC a permis la consolidation d'une équipe en collaboration avec les laboratoires participant autour de la thématique « Emissions ». Parmi les résultats évoqués, on note la construction de nombreux inventaires de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) pour la période 1860-2100. Pour mener à bien ces projets, il a été indispensable d'effectuer des modifications dans l'inventaire d'émissions existant (Cooke et al., 1999), à la fois au niveau de l'algorithme et au niveau du choix de facteurs d'émission, et en plus de développer des inventaires non seulement pour les fuels fossiles mais aussi pour les biofuels, dont l'importance ne cesse d'augmenter dans les pays en voie de développement. Une campagne expérimentale organisée en 2002 dans la chambre de combustion du laboratoire d'Aérodologie a d'ailleurs permis la caractérisation des émissions par les biofuels indiens et chinois, des combustions jusqu'alors très peu documentées. Concernant les inventaires de feux de savane et de feux de forêts, les développements régionaux réalisés pour l'Asie et l'Afrique à partir des surfaces brûlées ont confirmé toute l'importance d'utiliser l'imagerie satellitale. Les comparaisons d'inventaires obtenus à partir de différents produits satellitaux ont révélé la grande sensibilité aux hypothèses de calculs sur les émissions par les feux de biomasse. Par ailleurs, l'analyse des variations interannuelles de ces émissions a montré que les projections passées et futures devaient tenir compte non seulement des modifications anthropiques mais également climatiques. Pour toutes ces raisons, il est aujourd'hui nécessaire de poursuivre cette action avec l'ensemble des groupes travaillant sur ces produits de feux : c'est ce qui est proposé dans le nouveau programme GICC de Claire Granier. La collaboration fructueuse mise en place avec l'IEPE nous a permis de développer de nouveaux inventaires d'émissions à l'horizon 2030 pour différents scénarios, inventaires que l'on a pu comparer à ceux déjà obtenus à partir des projections IPCC 2100. Un travail similaire est prévu pour l'horizon 2100. Il faut souligner que nous avons également développé une méthodologie nouvelle qui nous a permis d'établir des inventaires d'émissions de 1860 à nos jours, en tenant compte de l'évolution des fuels et de leur utilisation, des normes de contrôle et des facteurs d'émission. Il est important de préciser que l'ensemble de ces inventaires de BC et de OCp est indispensable à des utilisateurs qui disposeraient des modèles capables de former des particules de carbone organique secondaire à partir de précurseurs chimiques et des modèles de chimie gazeuse associés. Pour les autres utilisateurs, ceux qui considèrent les particules comme traceurs, des inventaires de carbone organique total sont en cours de construction à partir des inventaires de OCp et d'un rapport variable OCp/OCtot.

Par ailleurs, il est important de mentionner que chacun des inventaires développés est caractérisé par une valeur de hauteur d'injection des particules dans l'atmosphère, un paramètre très variable d'une source d'émission à une autre, auquel les modèles globaux sont particulièrement sensibles (Liousse et al., 1996).

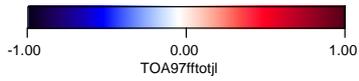
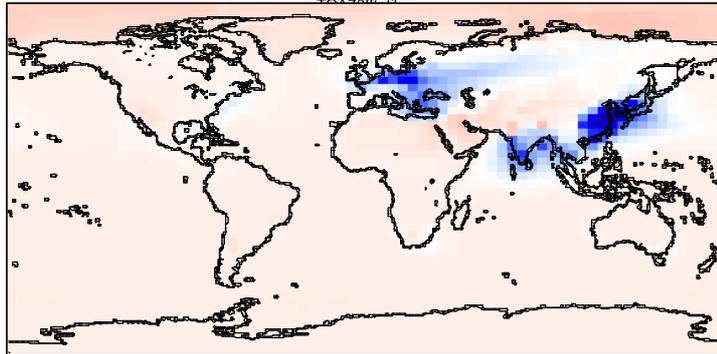
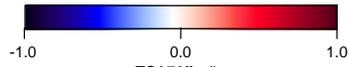
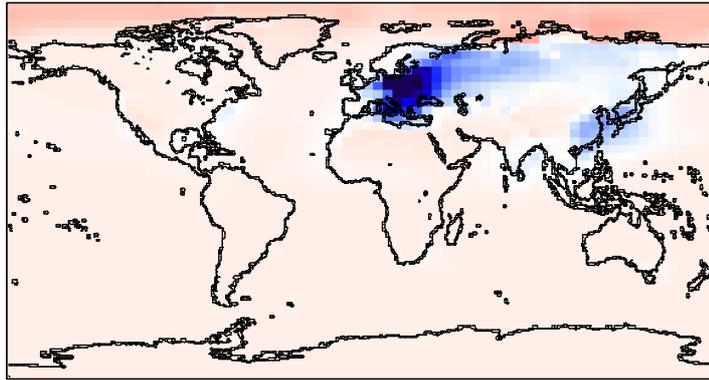
Face aux disparités existantes entre les différents inventaires au niveau international, et pour faire suite aux intercomparaisons menées dans le cadre de ce projet, nous avons participé à la mise en place d'un groupe international dont le but est de coordonner les actions « émissions d'aérosol carboné » au niveau international dans le cadre de GEIA et d'ACCENT, afin de proposer des recommandations pour la définition de l'aérosol carboné, les protocoles expérimentaux, le choix des EF et la caractérisation des particules à l'émission.

Il est intéressant de noter également la mise en place de la base de données CAPEDB rendant facilement exploitables et accessibles, les inventaires d'émission développés dans ce programme, dès la parution d'articles soumis pour ces différents travaux.

Pour conclure, les premières modélisations off-line réalisées avec le modèle TM3 (cf figure 13, Liousse 2002, présentation invitée au colloque pollution/climat, Hawaï Mai 2002), travaux présentant des comparaisons satisfaisantes mesures-modèles pour le carbone suie, montre toute l'importance du rapport BC/OC quant à l'impact radiatif de l'aérosol carboné et donc, l'importance de l'établissement des sources d'émission. La figure 13 présente ces résultats pour l'année 1970 et l'année 1997. Le réchauffement augmente sur l'Europe (réduction de certaines sources d'émission par rapport à d'autres), alors que sur l'Asie, on observe une intensification du refroidissement. Ces mêmes sources sont en cours de tests dans le modèle climatique régional RegCM3 (collab. F. Giorgi) sur la zone Europe-Afrique grâce aux études de notre nouvel étudiant en thèse (A. Konaré) et de F. Solmon à l'ICTP, (Solmon et al., 2005) ainsi que dans le modèle TM4 (thèse L.A. en cours de B. Guillaume)

Dans les perspectives à plus long terme (non financées dans ce programme et qui s'inscrivent dans notre prochaine demande GICC), il s'agira de s'attacher à l'exploitation des sources d'émissions d'aérosol carboné établies pour le passé et le futur à l'aide de modèles climatiques régionaux (RegCM3) et globaux (LMD, H. Le Treut). L'objectif scientifique étant toujours de répondre à la question : Quelles émissions d'aérosol carboné pour un impact climatique régional/global significatif ?

Figure 13 : Calcul du forçage radiatif (TOA) en W/m^2 par l'aérosol carboné (BC et OC)



6- Valorisations (cf. Annexe 3 : réponse au questionnaire GICC sur la valorisation des travaux) :

Publications acceptées :

- C. Liousse, M. O. Andreae, P. Artaxo, P. Barbosa, H. Cachier, J. M. Grégoire, P. Hobbs, D. Lavoué, F. Mouillot, J. Penner, M. Scholes Deriving Global Quantitative Estimates for Spatial and Temporal Distributions of Biomass Burning Emissions, IGAC book on Emissions, edited by Granier C., Artaxo P and C. Reeves, Kluwer, 2004
- Schaap, M.; Van Der Gon, H. A. C. Denier; Dentener, F. J.; Visschedijk, A. J. H.; Van Loon, M.; ten Brink, H. M.; Putaud, J.-P.; Guillaume, B.; Liousse, C.; Builtjes, P. J. H. (2004), Anthropogenic black carbon and fine aerosol distribution over Europe, J. Geophys. Res., Vol. 109, No. D18, D18207, 10.1029/2003JD004330
- Michel C., C. Liousse, J.M. Grégoire, K Tansey, G. Carmichael, Biomass burning emission inventory derived from burnt area data from Spot vegetation satellite for Trace P and Ace Asia case studies. Accepté au J. Geophys. Res, 2005.
- Solmon F., F. Giorgi and C. Liousse, Development of a regional anthropogenic aerosol model for climate studies : Application and validation over a European/African domain, Accepted to Tellus, 2005.

Publications soumises :

- Carbonaceous Aérosol Emissions, papier soumis pour un chapitre du livre IIASAG (P. Hobbs ed.) et pour un chapitre IPCC coordonné par Riahi (IIASA), 2005a.

Publications en cours de préparation :

- Liousse C. and H. Cachier, Fossil Fuel Carbonaceous Aerosols in 2100 : a darker or a brighter future ?, en préparation pour Science, 2005.
- Liousse C., Chiappello I., Quesque P., Barbosa P., Grégoire J.M., Clavier F. and H. Cachier, Interannual variability of global transport and radiative impact of carbonaceous aerosol in Africa for the 1980 decade, en préparation, 2005b.
- Junker C. and C. Liousse, 2005a : A biofuel and fossil fuel emission inventory of carbonaceous aerosol for the period 1950 – 1997.
- Junker C. and C. Liousse, 2005b : A biofuel and fossil fuel emission inventory of carbonaceous aerosol in 2030.
- Guillaume B. and C. Liousse, 2005 : Development of carbonaceous aerosol emission inventories from fossil fuel and biofuel over Europe, at continental national and regional scales.

Conférence invitée :

C. Liousse, Black carbon and organic carbon emissions, climatologies and trends, papier invité au workshop « Air pollution and Climate change », Hawaii, Mai 2002.

C. Liousse, Organic carbon emissions, papier invité au « Organic Aerosol workshop », Finlande, Mai 2004.

Conférences :

Liousse, C., Michel, C., Bessagnet, B., Cachier, H. and Rosset, R., 0D-Modeling of Carbonaceous Aerosols in Urban Plumes in the frame of Esquif Campaign (in Paris, France) : FOCUS on the organic particle formation, EGS, Nice, Mai 2002.

Liousse C., Hélène Cachier, Christelle Michel, Jean-Marie Grégoire and Isabelle Chiappello, Climatology of black and organic carbon particles from 1950 to 2100, IGAC, Crête, Septembre 2002.

Lioussé, C., Michel, C., Aulagnier F., Cousin F., Bessagnet, B., Cachier, H. and Rosset, R., 0D-Modeling of Carbonaceous Aerosols in the framework of Esquif and escompte Campaigns ; FOCUS on the secondary organic particle formation, IGAC, Crête, Septembre 2002.

Michel C., C. Lioussé, J-M. Gregoire, K.Tansey, and H. Cachier, Biomass burning emission inventory in Asia with a focus during ACE-ASIA campaign, IGAC, Crête, Septembre 2002.

Lioussé C., Bruno Guillaume, Christelle Michel, Carsten Junker, Jean-Marie Grégoire and Hélène Cachier, Recent developments for Carbonaceous Aerosol Inventories of the 1950-2100 time period, 8th international conference on carbonaceous aerosol, Vienna, september 2004.

Guillaume B., Catherine Lioussé, Hélène Cachier and Hugo Denier van der Gon, Development of fossil fuel carbonaceous aerosol emission inventories et European, National and Regional scales, 8th international conference on carbonaceous aerosol, Vienna, september 2004.

Junker C., Catherine Lioussé, Benjamin Guinot and Hélène Cachier, A biofuel emission inventory of carbonaceous aerosol for the period 1950 – 2100, 8th international conference on carbonaceous aerosol, Vienna, september 2004.

Cachier Hélène, Sciare Jean, Guinot Benjamin, Sarda-Estève Roland, Oikonomou Konstantina, Lioussé Catherine, Galy-Lacaux Corinne, Gardrat Eric, Thermo-optical separation of the aerosol Black and Organic carbon fractions: is a consensus possible?, 8th international conference on carbonaceous aerosol, Vienna, september 2004.

C. Lioussé : depuis juin 2002 :

Coordination du groupe « inventaires d'émissions aérosol carboné » au niveau international (GEIA/IGBP).

Membre du steering « comitee » du groupe « Emissions » à l'échelle européenne dans le cadre du programme ACCENT.

Annexe 1 : English summary

Climatic impact of aerosols is now recognized even if its estimation is complex with much higher uncertainties than for greenhouse gases (GHG). Also, recent publications have shown that global warming would be more efficiently stopped by reducing carbonaceous aerosols than GHG only, due to the shorter lifetime of aerosols. Moreover, some actions scheduled to reduce GHG amounts such as the increasing use of diesel instead of gasoline have the opposite effect on emissions of carbonaceous aerosol particles. Consequently, more details on particle emissions are urgently needed.

The aim of our program is to determine past, present and future emission inventories of carbonaceous particles from 1860 to 2100 for fossil fuel and biofuel sources. Emission inventories for savanna and forest fires have been developed by using burnt area products given by satellite for Asia and Africa.

Let us note that our strong collaboration with the different groups attending this GICC program has allowed to develop the following results :

- With the improvement of algorithms and new choices for emission factors, emission inventories for black carbon (BC), primary organic carbon (OCp) and total organic carbon (OCtot) have been constructed for the period 1950 to 1997 for fossil fuel and biofuel sources. With these new development, biofuel sources have been seen to be significant, especially in the developing countries.
- Past inventories have been developed for fossil fuel and biofuel sources from 1860 to 1997 by taking into account the evolution of fuel consumption, fuel use and emission factors. For the 1860-1950 period, a new methodology has been set up based on Bairoch (1991) for fuel history, on UNSTAT database for fuel use history and on Pertuisot (1997) for emission factors. Results for the common period between the Bairoch inventory and the UNSTAT inventory (1950-1985) have been compared. The need of choosing an evolutive emission factors has been pointed out.
- Savanna and forest fire inventories have been constructed based on burnt area products, for Africa (1981-1991, 2000) and Asia (2000-2001). These results show the importance of using real time data instead of statistics. Moreover, first comparisons between inventories based on burnt area data with inventories based on fire pixel data have shown high differences, not clearly explained. It is now urgently needed to work closer on these different existing products with the different groups interested by these methodologies. Concerning the past and future projections, this study indicates that not only the population growth has to be considered but also history of climatological factors.
- Future emission inventory of black carbon by fossil fuel sources has been constructed for 2100 following the IPCC scenario A2 (« catastrophic case ») and B1 (« perfect world »). Because various assumptions were taken in this exercise and because of the absence of biofuel sources, new emission inventories for BC and OC have been developed based on more realistic data than IPCC and including both fossil fuel and biofuel sources. Fuel consumption by activities and their projections in the future have been obtained from socio-economical POLES model by collaborating with the team of P. Criqui for two scenario : a reference case (« ref », defined as « business as usual » case) and a carbon constraint case (« ccc », defined from Kyoto protocol). BC budget has been seen to be included in the range of 5.8-13.7 TgC with the « ccc » and the « ref » scenario respectively. Let us recall that 0.6-100 TgC was the range obtained respectively for 2100 B1 and A2 scenario (Liousse and Cachier, 2005).
- Characterization of biofuel emissions has been realized by organizing an experiment in a combustion chamber where indian and chinese biofuels (fuelwood, agricultural wastes, dungcake etc..) were burnt, reproducing the burning methods used in these countries.

Carbonaceous aerosol particle size and emission factors have been here scrutinized. Submicron particles have been abundantly found while large particles were mainly expected. Values of emission factors are situated in the high part of the range which can correspond to values typical of developing countries. However, in order to integrate all these kind of experimental data, a theoretical relationship based on the covariation of CO to CO₂ (a well known parameter indicating the combustion quality) with the BC/OC ratio but also with BC emission factors has been developed and tested against our biofuel experiment.

- Finally, we have tried to explain the differences between the existing inventories of carbonaceous aerosols. An international workshop has been organized in Toulouse in June 2002 and specialists of carbonaceous aerosol emissions have been invited to focus on aerosol definitions, emission factor choices, and methods of sampling and measurements. Different papers have used some of the conclusions of this workshop (Liousse et al., 2004, Bond et al., 2004, Liousse et al., 2005, IIASAG book and IPCC chapter). In the frame of GEIA and ACCENT programs, new workshops are now scheduled in 2005 to give clear recommendations for coherent inventories to the users.

It is interesting to note that all the inventories have been developed in a database which will be opened once the papers relative to these works will be accepted.

Annexe 2 :

Title of the workshop : "International workshop on carbonaceous aerosol emission inventory"

Workshop pre-agenda :

June 11th :

9h00 : Welcome

9h05-9h15 : Presentation of the workshop (C. Liousse)

9h15-9h30 : J. Penner : *Carbonaceous aerosols : definition and inventories*

9h30-10h00 : C. Liousse : *Global Emission inventory for carbonaceous aerosols*

10h00-10h15 : C. Michel : *Zoom on Asian biomass burning inventory*

10h15-10h45 : T. Bond : *Global Emission inventory for black carbon aerosols (with zoom on China)*

10h45 -11h00 : *Break*

11h00-11h30 : C.S. Kiang : *Zoom on China*

11h30-12h00 : G. Carmichael : *Ace Asia and Trace P : the chosen inventory and impact*

12h00-12h30 : M.S. Reddy : *Carbonaceous aerosol inventory in India*

Lunch

13h45-14h15 : G. Parween : *Carbonaceous aerosol inventory in India*

14h15-14h45 : R. Gadi : *Carbonaceous aerosol emissions in India (including measurements)*

14h45-15h00 : *Break*

15h30-18h00 : **Session 1** : Consistency between the different global inventories concerning fossil fuel and biofuel emissions

June 12th

9h00-12h00 : **Session 2** : Consistency between the asian regional inventories for fossil fuel and biofuel emissions ; link with global inventories

Lunch

13h30-15h30 : **Session 3** : Biomass burning inventories

15h30-16h00 : Conclusions, Actions.

List of main participants :

T. Bond, NOAA - PMEL, Seattle, USA.

H. Cachier, LSCE, Gif sur Yvette, France.

G. Carmichael, University of Iowa, USA.

R. Gadi, Centre on Global Change, New Delhi, India.

C.S. Kiang, Center for Environmental Sciences, Beijing, China.

C. Liousse, LA, Toulouse, France.

C. Michel, LA, Toulouse, France.

G. Parween, CESE, Bombay, India.

J. Penner, University of Michigan, USA.

M. S. Reddy, LOA, Lille, France.

QUESTIONNAIRE POUR LA PREPARATION DU COLLOQUE DE VALORISATION GICC-1

Réponses de C. Liousse

Destinataires : tous les porteurs de projet ayant reçu un financement GICC en réponse aux APR de 1999, 2000 et 2001

Contexte : il s'agit de préparer des sessions montrant les résultats obtenus dans le cadre du GICC et relatifs à de grandes questions touchant au domaine climatique et à ses impacts (cf. le projet d'organisation du colloque donné ci-après)

Questions posées :

1. A quelle(s) grande(s) question(s) les résultats obtenus dans le cadre du projet que vous avez piloté apportent-ils des (éléments de) réponses ?

Les résultats déjà obtenus et à obtenir dans le cadre du projet GICC que je coordonne aujourd'hui sont un passage nécessaire pour déterminer si l'impact climatique des aérosols carbonés est significatif au niveau régional et/ou global par rapport à celui des GES (CO₂, CH₄...).

En effet, même s'il est beaucoup plus difficile à évaluer que celui des gaz à effet de serre (GES), le rôle climatique des aérosols est fortement suspecté. De plus, il est au centre de nombreux débats depuis qu'une étude américaine récente (Hansen et al., 2000) a montré que pour réduire le réchauffement climatique, l'effort devrait porter sur la réduction des émissions de GES, mais également des aérosols carbonés. Une étude plus récente encore a même suggéré qu'il serait plus efficace de réduire les émissions d'aérosol carboné que celles des gaz à effet de serre (Jacobson, 2002), car le temps de vie des aérosols est bien plus court que celui des GES et, par suite l'effet plus rapidement ressenti. Malheureusement, les énergies les plus propres en GES (comme le diesel) sont les plus émettrices en particules carbonées. On comprend alors l'inquiétude des politiciens et des industriels à qui l'on avait conseillé de transformer les énergies « essence » en énergie « diesel » afin de limiter les émissions de GES, et qui comprennent aujourd'hui que la conséquence de cette transformation serait d'augmenter les émissions particulières! Lors du workshop « Pollution-Climat » organisé à Hawaï par J. Hansen (Mai 2002), ces mêmes conférenciers s'étonnaient de cette complexité, renvoyant les scientifiques dans leurs laboratoires pour valider ces hypothèses.

Que ce soient pour prendre en compte l'aérosol carboné dans les modèles climatiques, ou bien pour définir des stratégies de réduction des émissions particulières, nous devons approfondir notre connaissance des émissions d'aérosols carbonés. L'objectif général de notre programme est donc, dans un premier temps, d'explorer la période 1860-2100 en établissant des cartes d'émissions de l'aérosol carboné, passées, présentes et futures.

2. Décrire en 2 à 3 lignes les résultats que vous souhaiteriez voir inclus dans les sessions de ce colloque de valorisation ?

Le comité GICC en soutenant cette action a permis le développement d'un programme portant sur les particules alors que celles-ci ne sont pas encore considérées dans les différents protocoles internationaux. Il me semble important que ce soutien pionnier soit mentionné dans le colloque de valorisation.

Le type de résultats à ce stade du projet pourrait être la présentation des différents inventaires d'émissions que nous avons établis (à ce jour, des inventaires globaux par les émissions de fuel fossiles de 1950 jusqu'en 1997 avec des projections pour des scénarios futurs élaborés pour 2020, 2050 et 2100 par nos collègues socio-économistes, des inventaires européens de 1995 à 2010, des inventaires d'émissions par les feux de biomasse à partir de l'imagerie satellitale etc..).

Par ailleurs, il serait intéressant de montrer les premières modélisations off-line réalisées avec le modèle TM3 qui souligne toute l'importance du rapport BC/OC quant à l'impact radiatif de l'aérosol carboné et donc, l'importance de l'établissement des sources d'émission. En comparant ce calcul pour l'année 1970 et l'année 1997, nous voyons que le réchauffement augmente sur l'Europe (réduction de certaines sources d'émission par rapport à d'autres ?) alors que sur l'Asie, on observe une intensification du refroidissement.

3. Comment votre projet s'est-il inséré dans le contexte international ? Son soutien par le GICC a-t-il facilité le montage d'un projet européen (international) ?

Au niveau international, seuls quelques groupes (4-5 groupes) travaillent sur l'établissement d'inventaires d'émissions d'aérosol carboné et notre groupe seulement sur les projections futures, ce qui donne une certaine avancée dans ce domaine.

Il est important de souligner que notre reconnaissance au niveau international sur l'aérosol carboné a été renforcée grâce au soutien du programme GICC.

- nous avons pu organiser un atelier de travail **international** les 11 et 12 juin 2002 à Toulouse, rassemblant les spécialistes du domaine (H. Cachier, T. Bond, J. Penner, M.S. Reddy, G. Parween, R. Gadi, G. Carmichael, C. Michel, R. Rosset and C. Lioussé). Les principales réalisations de ce workshop ont été de confronter et synthétiser les points de vue des différentes personnes spécialistes au monde es inventaires d'émissions d'aérosol carboné sur la définition de l'aérosol, le choix des facteurs d'émission pour le présent et d'éventuelles projections. Les actes de ce workshop sont en cours de publication : **il est important de noter que ce groupe m'a donné mandat pour le représenter dans le groupe international GEIA de l'IGBP (cf <http://weather.engin.umich.edu/geia>) et dans le groupe européen ACCENT** aux côtés de C. Granier.
- Grâce à l'organisation de ce workshop à Toulouse et à mes premiers résultats, j'ai été invitée au workshop **Air Pollution and Climate Change organisé par J. Hansen** à Hawaii en mai 2002, pouvant ainsi présenter les travaux français.
- Cette action « émission » reconnue aujourd'hui internationalement, m'a permis d'intégrer **le programme européen Back to Back** en tant que **Co-PI** de H. Van Denier dans la sous section Emission.
- Enfin, je viens de terminer **le chapitre du livre IGAC-Emissions**, édité par C. Granier, **sur les émissions par les feux de biomasse** où est mentionné cet effort de coordination au niveau international pour le choix des EF (Lioussé et al., 2003).

Références :

Publication acceptée : C. Liousse, M. O. Andreae, P. Artaxo, P. Barbosa, H. Cachier, J. M. Grégoire, P. Hobbs, D. Lavoué, F. Mouillot, J. Penner, M. Scholes Deriving Global Quantitative Estimates for Spatial and Temporal Distributions of Biomass Burning Emissions, IGAC book on Emissions, edited by Granier C., Artaxo P and C.

Reeves, Kluwer, 2004.

Publications soumises :

Michel C., C. Liousse, J.M. Grégoire, K Tansey, G. Carmichael, Biomass burning emission inventory derived from burnt area data from Spot vegetation satellite for Trace P and Ace Asia case studies. soumis, novembre 2003.

Publications en cours de rédaction :

Liousse C., H. Cachier, C. Michel and B. Guillaume, Modeling of transport and radiative impact of carbonaceous aerosol from fossil fuel emissions in the frame of a CO₂ quadrupling, en préparation, 2004a.

Liousse C., Chiappello I., Quesque P., Barbosa P., Grégoire J.M., Clavier F. and H. Cachier, Interannual variability of global transport and radiative impact of carbonaceous aerosol in Africa for the 1980 decade, en préparation, 2004b.

Conférence invitée :

C. Liousse, Black carbon and organic carbon emissions, climatologies and trends, papier invité au workshop « Air pollution and Climate change », Hawaii, Mai 2002.

Conférences :

Catherine Liousse, Hélène Cachier, Christelle Michel, Jean-Marie Grégoire and Isabelle Chiappello, Climatology of black and organic carbon particles from 1950 to 2100, IGAC, Crête, Septembre 2002.

Liousse, C., Michel, C., Aulagnier F., Cousin F., Bessagnet, B., Cachier, H. and Rosset, R., 0D-Modeling of Carbonaceous Aerosols in the framework of Esquif and escompte Campaigns ; FOCUS on the secondary organic particle formation, IGAC, Crête, Septembre 2002.

Michel C., C. Liousse, J-M. Gregoire, K.Tansey, and H. Cachier, Biomass burning emission inventory in Asia with a focus during ACE-ASIA campaign, IGAC, Crête, Septembre 2002.

C. Liousse : depuis juin 2002 :

Coordination du groupe « inventaires d'émissions aérosol carboné » au niveau international (GEIA/IGBP)

Membre du groupe « Emissions » à l'échelle européenne (dans le cadre du programme ACCENT)

Co-PI du sous programme Emission de la demande européenne BACK to BACK.

4. Vos travaux ont-ils permis d'ouvrir vers d'autres questionnements ou vers de nouvelles perspectives ? Commentez ;

Dans les perspectives à plus long terme (non financés dans ce programme et qui pourrait s'inscrire dans une prochaine demande GICC) il s'agirait de s'attacher à l'exploitation des sources d'émissions d'aérosol carboné établies pour le passé et le futur à l'aide de modèles climatiques régionaux (RegCM3) et globaux (LMD, H. Le Treut). L'objectif scientifique étant toujours de répondre à la question : Quelles émissions d'aérosol carboné pour un impact climatique régional/global significatif ?

5. Vos travaux ont-ils permis d'apporter des éléments d'aide à la décision en matière de lutte contre le CC (réduction des émissions de GES et/ou adaptation aux impacts) ? Commentez ;

Comme précisé dans la 1ère question, mes travaux mais surtout ceux de D. Jacobson lors du workshop « Air Pollution-Climate Change » organisé à Hawaï par J. Hansen (Mai 2002), ont montré que les énergies les plus propres en GES (comme le diesel) sont les plus émettrices en particules carbonées, particules qui pourraient avoir un impact climatique. On comprend alors l'inquiétude des politiciens et des industriels à qui l'on avait conseillé de transformer les énergies « essence » en énergie « diesel » afin de limiter les émissions de GES, et qui comprennent aujourd'hui que la conséquence de cette transformation serait d'augmenter les émissions particulières! Nous devons de manière urgente tester les inventaires d'émission établis dans notre programme GICC dans des modèles climatiques régionaux et globaux.

6. Vos travaux ont-ils permis de mettre en œuvre des méthodologies nouvelles ?

Effectivement nos travaux ont permis de mettre en œuvre des méthodologies nouvelles dans l'établissement des inventaires d'émission.

- Dans un premier, nous avons établi une méthode systématique de détermination de facteurs d'émission que nous devons à présent valider par des nouvelles expériences.
- Nous avons également mis au point une méthodologie nouvelle d'établissement d'inventaires d'émissions pour les gaz et les particules par les feux de biomasse à partir des surfaces brûlées détectées par imagerie satellitale.
- Avec l'aide MEDIAS, nous avons développé une base de données avec un accès facile par internet pour les futurs utilisateurs pour y introduire les inventaires d'émission développés.
- Enfin et ces travaux sont en cours, les nouvelles projections établies par le groupe des socio-économistes présent dans notre projet seront utilisées pour dérivation d'inventaire. Cette nouvelle action est très prometteuse.