

INVENTAIRES D'EMISSIONS DE CARBONE SUIE (BC) ET DE CARBONE ORGANIQUE PRIMAIRE (OCp) EN AFRIQUE EN 2005

Sommaire

3.1. Introduction	76
3.2. Inventaire d'émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) en Afrique pour l'année 2005.....	76
3.2.1. <i>Méthodologie</i>	76
3.2.2. <i>Données de consommations</i>	79
3.2.3. <i>Emissions</i>	98
3.3. Comparaison de mon nouvel inventaire avec les inventaires de Junker and Liousse (2008) et de Bond et al. (2004)	114
3.3.1. <i>Consommations</i>	114
3.3.2. <i>Emissions</i>	117
3.4. Comparaison entre les émissions de combustibles fossiles et de biofuels et celles des feux de biomasse, de carbone suie et de carbone organique primaire	122
3.4.1. <i>Carbone suie</i>	122
3.4.2. <i>Carbone organique primaire</i>	123
3.4.3. <i>Conclusion partielle</i>	124
3.5. Conclusion.....	125

3.1. Introduction

Dans le chapitre 2, l'importance d'une spécificité régionale a été démontrée en établissant un inventaire des émissions dues aux véhicules à deux roues. Dans le chapitre 3, nous allons « élargir » la notion de spécificité régionale en construisant un inventaire régional d'émissions d'aérosols carbonés pour l'année 2005 tenant compte de toutes les sources anthropiques. Ce nouvel inventaire 2005 sera ensuite comparé aux inventaires globaux existants (Bond et al., 2004 ; Junker and Liousse, 2008). Des tests de sensibilité seront d'abord menés, nécessaires compte tenu des incertitudes sur les données, puis ensuite nous effectuerons une comparaison de l'inventaire nouvellement créé aux inventaires globaux existants.

3.2. Inventaire d'émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) en Afrique pour l'année 2005.

Dans cette 1^{ère} partie, les inventaires d'émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) que j'ai développés à l'échelle de l'Afrique pour l'année 2005 sont présentés. Ce travail est très important, dans la mesure où en Afrique, il existe des sources de pollutions spécifiques mal renseignées dans les inventaires globaux mais pourtant très émettrices (mélange essence-huile pour les engins à deux roues, vieilles voitures importées d'Europe,...) comme déjà montré au chapitre 2.

3.2.1. Méthodologie

On a vu au chapitre 1 que le choix de la méthodologie de Junker and Liousse (2008) pour la construction des inventaires d'émissions nous imposait la détermination de 9 facteurs d'émissions seulement. Compte tenu du manque flagrant de mesures de facteurs d'émissions, la méthodologie de Junker and Liousse (2008) m'a paru la plus adaptée pour l'élaboration de l'inventaire régional d'émissions des aérosols de combustion (carbone suie et carbone organique). La méthodologie de calcul des émissions est présentée sur la figure 3.1. Dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008), les données de consommations de biofuels et de combustibles fossiles proviennent de la base de données ONU. Pour le calcul des émissions, les facteurs d'émissions tiennent compte du combustible fossile ou du biofuel utilisé, du secteur d'activité et de la technologie via le niveau de développement du pays pour lequel trois niveaux sont considérés : les pays développés (e.g. la France), les pays semi développés (e.g. Afrique du Sud) et les pays en voie de développement (e.g. la Côte d'Ivoire). Il y a 33

principaux combustibles fossiles et biofuels de combustion dans la base de données de l'ONU. Par ailleurs, les activités industrielles, domestiques et celles liées au trafic constituent les secteurs pris en compte dans cet algorithme. Dans mon nouvel inventaire, j'ai introduit tout d'abord un nouveau secteur d'activité lié aux combustions dans les centrales thermiques (centrales fabriquant l'électricité à partir d'une source de combustion), comme c'est le cas dans l'inventaire de Bond et al. (2004). La séparation entre industries « classiques » et centrales thermiques vient du fait que ces deux technologies ont des facteurs d'émissions différents. A titre d'exemple, dans les pays en voie de développement, le facteur d'émission du carbone organique primaire pour le bois est de 2,16 g/kg dans le secteur industriel (Junker and Liousse, 2008) contre 0,31 g/kg pour les centrales thermiques (Bond et al., 2004), soit un ratio de 7. Pour la différenciation entre industries et centrales thermiques, j'ai eu recours aux données d'un autre organisme international, à savoir l'Agence Internationale de l'Energie (IEA). Aussi, j'ai adapté l'algorithme de calcul des émissions (figure 3.1) en tenant compte des véhicules à deux roues et de la fabrication du charbon de bois (charcoal making). J'ai ensuite révisé entièrement toutes les données de consommation de combustibles fossiles et de biofuels, ainsi que les facteurs d'émissions utilisés dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008). Enfin, la densité de population qui était utilisée pour la spatialisation de ces émissions avait précédemment une résolution horizontale de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ et datait de 1984 (GISS, 1984). Nous utilisons à présent des données de densité de population plus récentes (2005), avec une meilleure résolution spatiale ($0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$). La figure 3.1 présente l'algorithme général de calcul des émissions de carbone suie et de carbone organique primaire, ainsi que leurs spatialisations. Les cadres en pointillés de la figure traduisent les nouveautés que j'ai introduites dans mon travail, elles seront détaillées par la suite.

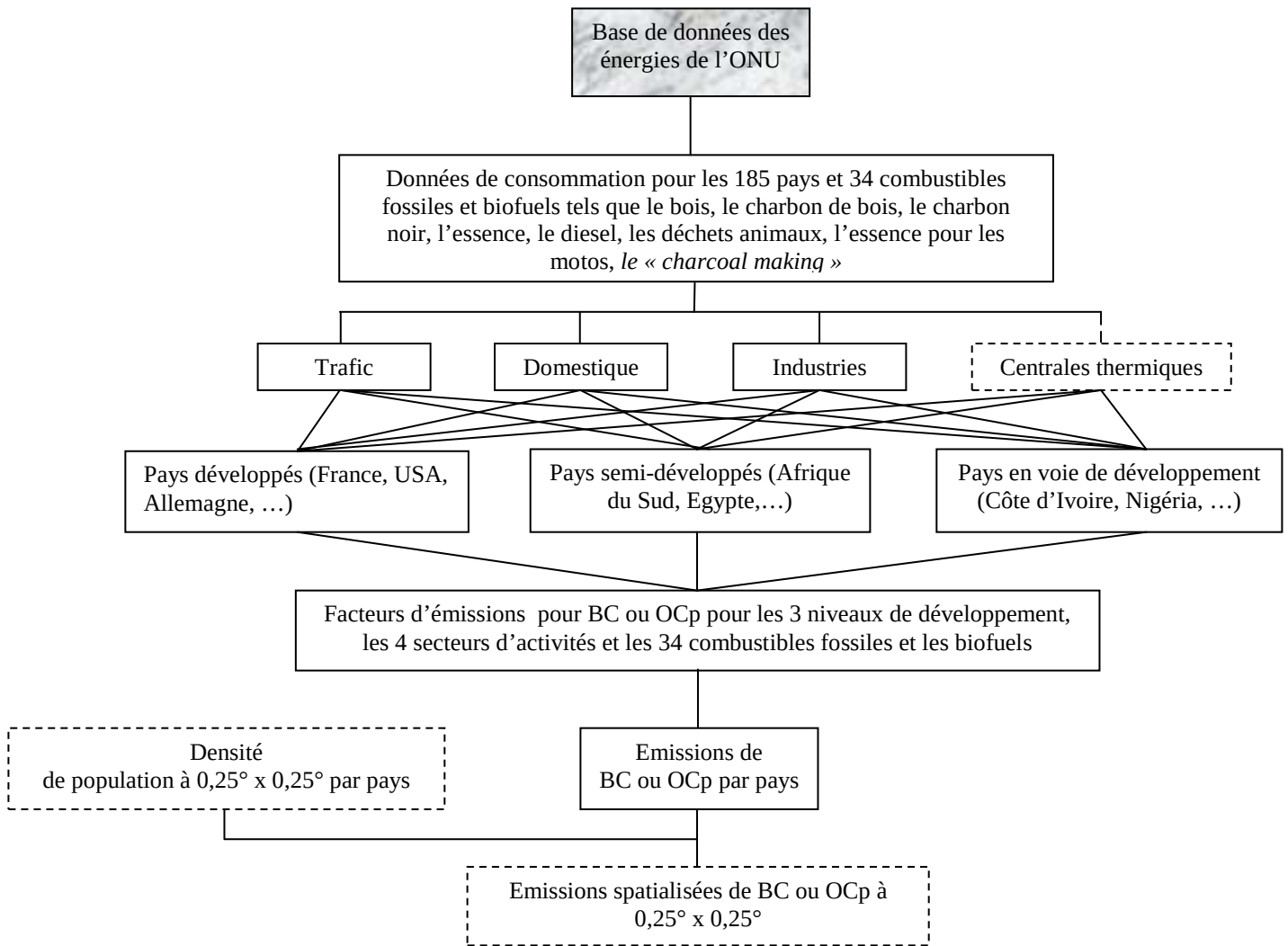


Fig. 3.1. : Algorithme de calcul des émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) par pays et leurs spatialisations.

Dans cet algorithme, les émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) sont calculées suivant la relation :

$$Em(i,l) = \sum_{j,k} C(j,k,l) * EF(i,j,k,l)$$

où Em représente les émissions en g, C la consommation (fossil fuel ou biofuel) en kg et EF les facteurs d'émissions en g/kg. i représente le type d'aérosol (BC ou OCp), j le fuel considéré, k le secteur d'activité et l le pays avec son niveau de développement.

Les détails et la méthodologie des mises à jour sont décrits ci-après.

3.2.2. Données de consommations

Quatre sources de données ont permis d'élaborer une mise à jour des données de consommation provenant de la base de données ONU utilisée par Junker and Liousse (2008) pour établir leur inventaire d'émissions à l'échelle du globe pour le carbone suie et le carbone organique primaire. Nous avons considéré les données de consommation en combustibles fossiles et biofuels :

- de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA, 2005),
- de l'inventaire des véhicules à deux roues (chapitre 2 et Assamoi and Liousse, 2010) actualisé pour l'année 2005,
- de résultats d'un questionnaire que j'ai distribué dans différents pays africains et relatif aux données de consommations des combustibles fossiles et des biofuels,
- des travaux de recherche de Brocard (1996) et de Liousse et al. (1996) que j'ai actualisés pour l'année 2005. Ces travaux traitaient des consommations du bois, du charbon de bois, ainsi que la fabrication du charbon de bois en Afrique.

a) Agence Internationale de l'Energie (IEA)

La base de données de l'IEA qui regroupent 4 secteurs d'activités (trafic, domestique, industrie et centrale thermique), présentés sur la figure 3.1 contre 3 (trafic, domestique et industrie où les centrales thermiques sont incluses dans les industries) dans la base de données de l'ONU, a permis une discrimination des données entre industries et centrales thermiques de la base de données de l'ONU. La méthodologie a consisté à évaluer la proportion de la consommation des combustibles fossiles et des biofuels des centrales thermiques dans la base de données de l'IEA par rapport à l'ensemble « industries et centrales thermiques ». Par la suite, nous avons supposé que cette proportion pourrait s'appliquer à la base de données ONU. C'est une hypothèse plausible, dans la mesure où ces deux organismes internationaux (l'ONU et l'IEA) disposent des mêmes sources de données, à savoir les administrations nationales. Ceci a été vérifié et validé au chapitre 2 pour les combustibles liquides dans le secteur du trafic où l'on notait peu de différences entre données de consommation de l'ONU et de l'IEA. Ainsi, la proportion liée à la consommation des centrales thermiques dans le total « industries et centrales thermiques » a été appliquée au secteur des industries de la base de données de l'ONU, afin d'en extraire la part due aux centrales thermiques et la « nouvelle » part due aux industries. Le tableau 3.1 fournit quelques exemples de données de

consommations du nouveau secteur des centrales thermiques à partir des données de l'IEA pour 2005 pour quelques pays africains.

Tableau 3.1. : Quelques exemples de modifications des valeurs de consommations de l'ONU (en Gigagrammes) sur la base des données de l'IEA pour les secteurs des industries et des centrales thermiques en 2005 de quelques pays d'Afrique.

Pays	Combustible fossile ^a	Secteur d'activité ^b	IEA		Consommation ONU (Gg)	
			Consommation (Gg)	Proportion %	New	Old
Algérie	DL	I	921	0,80	710,2	884,5
		PPLT	226	0,20	174,3	/
		Total	1147	1	884,5	884,5
Angola	DL	I	276	0,86	204,4	237
		PPLT	44	0,14	32,6	/
		Total	320	1	237,0	237
Bénin	DL	I	2	0,08	4,4	54,6
		PPLT	23	0,92	50,2	/
		Total	25	1	54,6	54,6
Côte d'Ivoire	DL	I	141	0,99	124,1	125
		PPLT	1	0,01	0,9	/
		Total	142	1	125,0	125
Nigéria	DL	I	34	0,09	41,3	468
		PPLT	351	0,91	426,7	/
		Total	385	1	468,0	468
Afrique du Sud	CL	I	10857	0,06	14 696,7	230981
		PPLT	159777	0,94	216 284,3	/
		Total	170634	1	230 981,0	230981

^a DL pour le diesel et CL pour le charbon noir (ou hard coal)

^b I pour les industries et PPLT pour les centrales thermiques.

Par ailleurs, il faut souligner que les données IEA nous ont permis également de prendre en compte l'Erythrée en tant que pays à part entière, ce qui n'était pas le cas dans la base de données de l'ONU, incomplète sur certains points. Cela est justifié par le nombre d'habitants de ce pays (4,5 millions en 2005) qui est plus important que celui d'une dizaine de pays en Afrique comme par exemple les 4,2 millions d'habitants en Centrafrique et les 3,3 millions d'habitants au Libéria en 2005 (World Bank, 2005).

b) Questionnaire sur les données de consommations en combustibles fossiles et en biofuels en Afrique

Notre deuxième source de données provient d'un questionnaire que nous avons distribué en 2007 en Afrique. En effet, lorsque j'ai débuté cette thèse, l'objectif principal était d'élaborer

un inventaire régional basé sur les données de consommation en combustibles fossiles et en biofuels issues d'enquêtes auprès des ministères concernés (transports, industries, mines et énergie,...) et/ou d'organismes régionaux (e.g. AfricaClean, Système d'Information Energétique (SIE)). Ce travail est apparu tout à fait pertinent au vu des différences relevées entre les données issues d'un organisme international tel que l'ONU et celles d'un organisme régional (AfricaClean par exemple) (cf. figure 1.2 de l'introduction générale). J'ai ainsi établi un questionnaire relatif aux données de consommation en combustibles fossiles et en biofuels pour les différents secteurs d'activités (industriel, domestique, trafic et centrales thermiques), afin de recouper les informations issues des différentes sources de données. Ce questionnaire, présenté en Annexe 1, a été envoyé à nos contacts et partenaires africains. Sur les 56 pays que compte l'Afrique, nous avons pu en contacter 27 avec 13 retours positifs à notre questionnaire. La figure 3.2 présente les pays ayant répondu favorablement à notre questionnaire (en bleu). A noter que c'est en Afrique de l'Ouest que nous avons eu le plus de retours positifs (cf. Annexe 2).



Fig. 3.2 : Carte géographique de l’Afrique : en bleu les pays qui ont répondu favorablement au questionnaire.

De manière plus détaillée, en Afrique du Nord, nous avons eu des réponses de l'Algérie, de l'Egypte et du Maroc. En Afrique de l'Ouest, sur 11 pays interrogés, nous avons obtenu 8 réponses dont celles du Bénin, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, du Mali, du Niger, du

Nigeria, du Sénégal et du Togo. Par contre, 6 questionnaires envoyés en Afrique du Centre et de l'Est sont restés sans réponse. Enfin, nous avons eu des réponses du Zimbabwe et de l'Afrique du Sud. Notons que les données obtenues à partir de ces questionnaires sont pour la plupart incomplètes, car tous les champs présents dans le questionnaire n'ont pas été remplis comme on peut le voir sur un exemple de retour de questionnaire en Annexe 1.

c) Inventaires des émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) par les deux roues en Afrique de l'Ouest pour l'année 2005.

L'inventaire des consommations et des émissions d'aérosols carbonés de combustion (BC et OCp) liées aux deux roues a été élaboré pour l'Afrique de l'Ouest pour l'année 2002 (Chapitre 2 et Assamoi and Liousse, 2010). Nous avons dû étendre cet inventaire à l'année 2005, tenant compte du fait que les données sur le nombre d'engins à deux roues est très évolutif. Il a donc fallu déterminer le nombre de deux roues dans les 16 pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée Bissau, Côte d'Ivoire, Libéria, Mali, Niger, Nigéria, Sénégal, Sierra Léone, Tchad et Togo) en 2005. Comme cela a été souligné par les auteurs au chapitre 2 et dans Assamoi and Liousse (2010), les données sont quasi-inexistantes quant au nombre de deux roues en Afrique de manière générale et à tout le moins sont très différentes de celles obtenues pour 2002. Quand elles existent, elles sont sujettes à caution, dans la mesure où les valeurs divergent d'une source à une autre (Kumar and Barret, 2008 ; Godard and Ngabmen, 2002). Aussi, nous avons défini à partir des différentes sources de données, un intervalle d'incertitude quant au nombre de deux roues en Afrique de l'Ouest pour 2005. Comme dans Assamoi and Liousse (2010), nous nous sommes basés sur des données « directes ». Ces dernières ont été obtenues dans 3 pays. Il s'agit du Cameroun avec 66893 véhicules à deux roues (Kumar and Barrett (2008), Diaz Olvera et al. (2007), Institut National de la Statistique (2006), Godard and Ngabmen (2002)), du Nigéria avec 2223858 deux roues (pers. comm. Aminu Jalal en réponse à notre questionnaire) et du Togo avec 144108 engins à deux roues (Trans-Africa (2009), BOAD (2002), Godard and Ngabmen (2002)). Parallèlement à ces données « directes », nous avons utilisé des données « indirectes » issues du calcul de la proportion entre les personnes ayant un véhicule à deux roues et la population totale dans chaque pays, à partir des données DHS (2006) (cf. tableau 3.1). Par ailleurs, nous disposons de données sur le nombre de deux roues pour des années autres que celle de 2005 dans cinq pays (Bénin, Burkina Faso, Mali, Niger et Tchad). Nous avons ainsi procédé à une interpolation linéaire entre les données connues pour ces années pour en déduire le nombre de véhicules à deux roues en 2005. Ainsi au Bénin, le

nombre d'engins à deux roues a été évalué à 166000 (BOAD, 2002) en 2000 et 320000 en 2002 (Assamoi and Liousse, 2010). Au Burkina Faso, ce chiffre varie entre 300000 en 2002 (Assamoi and Liousse, 2010) et 600000 en 2008 (Afriquejet, 2008). Au Mali, on recensait 300000 deux roues en 2002 (Assamoi and Liousse, 2010) contre 450000 en 2007 (Ministère des Transports, 2008). Le nombre de deux roues en circulation au Niger est faible en comparaison aux pays précédents. On en dénombrait ainsi 4700 en 2000 (BOAD, 2002) et 5000 en 2002 (Assamoi and Liousse, 2010). Enfin au Tchad, les véhicules à deux roues seraient au nombre de 3640 en 1996 (Metschies, 1999) contre 32000 en 2008 (Trans-Africa, 2009). Le tableau 3.2 résume le nombre de véhicules à deux roues obtenues avec ces différentes sources en 2005.

Tableau 3.2. : Nombre de véhicules à deux roues en 2005.

Pays	Population ^b	Nombre de personnes par foyer ^c	Nombre de foyers qui ont un 2 roue (%) ^c	Nombre de foyers qui ont un 4 roue (%) ^c	Nombre de foyers ^c	Nombre de véhicules à deux roues en 2005	
						Evaluations directes et interpolations	DHS (2006)
Bénin	7867630	5,0	35,6	4,4	1573526	551000	560175
Burkina Faso	13933400	6,5	24,2	2,9	2143600	450000	518751
Cameroun	17795100	4,8	7,5	5,0	3707313	66893	278048
Côte d'Ivoire ^a	19244900	5,5	11,8	4,1	3499073	/	412891
Gambie ^a	1526140	/	/	/	/	/	/
Ghana ^a	21915200	4,0	2,1	5,4	5478800	/	115055
Guinée ^a	9220770	6,1	8,6	4,0	1511602	/	129998
Guinée Bissau ^a	1472630	/	/	/	/	/	/
Libéria ^a	3334220	5,0	1,7	2,1	666844	/	11336
Mali	11611100	5,7	29,7	3,8	2037035	390000	604999
Niger	13264200	6,1	5,6	2,0	2174459	5450	121770
Nigeria	141356000	5,0	15,1	9,6	28271200	2223858	4268951
Sénégal ^a	11281300	8,7	5,9	7,3	1296701	/	76505
Sierra Léone ^a	5106980	5,9	4,0	2,0	865590	/	34624
Tchad	10145600	5,4	4,3	1,5	1878815	24910	80789
Togo	5992080	5,4	10,4	2,5	1109644	144108	115403

^a Pays pour lesquels manquent des données sur le nombre de 2 roues.

^b Les données de population proviennent de Workd Bank (2005).

^c Les données proviennent de DHS (2006).

On a remarqué que les valeurs obtenues avec les données DHS (2006) étaient supérieures à celles obtenues avec les autres sources (évaluations directes et interpolations), sauf au Togo. Ainsi, nous avons considéré les valeurs de DHS (2006) comme celles de notre scénario maximum et les autres pour le scénario minimum, sauf au Togo où les valeurs ont dû être

inversées. Pour les 8 pays (la Côte d'Ivoire, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée Bissau, le Libéria, le Sénégal et la Sierra Léone), nous ne disposons d'aucune donnée sur le nombre de deux roues en 2005 dans le scénario minimum. C'est le cas également pour la Gambie et la Guinée Bissau dans le scénario maximum. Pour pallier ce problème, nous avons considéré le ratio du nombre de deux roues et des quatre roues en 2005 donné par DHS (2006) et IRF (2007) (cf. tableau 3.3). Ainsi, la plus faible valeur du ratio, obtenue au Niger (0,13), a été appliquée à ces 8 pays dont on connaît le nombre de véhicules à 4 roues, afin de calculer le nombre de deux roues dans le scénario minimum en 2005. Pour compenser le manque de données en Gambie et en Guinée Bissau dans la configuration maximum, nous avons également utilisé le plus grand ratio (8,34 au Burkina Faso) pour déduire le nombre de deux roues en circulation en 2005 dans ces deux pays. Le tableau 3.3 présente le nombre de deux roues en 2005 dans les 16 pays d'Afrique de l'Ouest, ainsi que les ratios entre les nombres de véhicules à deux roues et à quatre roues dans chaque pays de notre étude.

Tableau 3.3. : Récapitulatif du nombre de 2 roues dans les 16 pays d'Afrique de l'Ouest dans les hypothèses minimum et maximum en 2005.

Pays	Nombre de véhicules à deux roues		Nombre de véhicules à 4 roues	Ratio 2 roues/4 roues		Nombre moyen de véhicules à deux roues
	minimum	maximum		minimum	maximum	
Bénin	551000	560175	69235	7,96	8,09	555588
Burkina Faso	450000	518751	62164	7,24	8,34	484376
Cameroun	66893	278048	185366	0,36	1,50	172471
Côte d'Ivoire	17978	412891	143462	0,13	2,88	215435
Gambie	10430	106217	12728	0,13	8,34	58323
Ghana	37076	115055	295855	0,13	0,39	76065
Guinée	7577	129998	60464	0,13	2,15	68788
Guinée Bissau	10398	98167	11764	0,13	8,34	54283
Libéria	72746	11336	14004	5,19	0,81	42041
Mali	390000	604999	77407	5,04	7,82	497500
Niger	5450	121770	43489	0,13	2,80	63610
Nigeria	2223858	4268951	2714035	0,82	1,57	3246405
Sénégal	11863	76505	94659	0,13	0,81	44184
Sierra Léone	14185	34624	17312	0,13	2,00	24404
Tchad	24910	80789	28182	0,88	2,87	52850
Togo	115403	144108	27741	5,19	4,16	129756

Afin de prendre en compte les incertitudes sur le nombre des véhicules à deux roues en circulation dans les 16 pays, nous avons établi une moyenne entre valeurs minimale et maximale du nombre de deux roues pour l'élaboration d'un inventaire 2005 unique à l'échelle de l'Afrique. Par ailleurs, Worou (2005) et Adjovi (1999) suggéraient respectivement que 50% et 40% des véhicules à deux roues en circulation étaient utilisés pour un usage public.

Dans notre logique de moyenne, nous avons donc considéré des proportions de 45% et 55% pour le nombre d'engins à deux roues à usage public et privé, respectivement. A ce nombre moyen de deux roues, nous avons associé les autres paramètres relatifs au scénario maximum (i.e. facteurs d'émissions, consommation journalière, densité du fuel,... : cf. tableau 2.2 au chapitre 2) pour le calcul de la consommation des véhicules à deux roues dans chaque pays selon la méthodologie décrite dans Assamoi and Liousse (2010). Comme spécifié dans cet article, les paramètres du scénario maximum sont ceux qui reflètent au mieux la réalité en Afrique, contrairement à ceux du scénario minimum qui reflètent plus les réalités de l'Europe. En effet, dans le scénario minimum, les facteurs d'émissions sont ceux des motos à deux temps d'Europe, le pourcentage du mélange essence/huile (2%) est celui préconisé par les fabricants européens des 2 roues et la consommation de 0,5 litre est celle d'un organisme français (ADEME).

Par ailleurs, dans notre algorithme, nous avons aussi introduit un « nouveau » combustible caractérisant le carburant des motos à deux temps issu du mélange essence et huile.

d) Actualisation des travaux de Brocard (1996) sur le charbon de bois et le bois

L'étude de Brocard (1996) a porté sur les émissions des combustions domestiques en Afrique de l'Ouest pour le charbon de bois et le bois (biofuels). Dans sa thèse, Brocard a donné la consommation en charbon de bois et en bois par habitant pour 1996. Ces données (Brocard, 1996), sont issues de questionnaires et d'enquêtes de terrain. A ce stade, nous avons émis une hypothèse « forte » : on a considéré que ces ratios de consommation de charbon de bois et de bois de chauffe par habitant obtenus par Brocard (pour 1996) sont les mêmes en 2005. Cette hypothèse revient à considérer que les habitants consomment les mêmes quantités de charbon de bois et de bois en 1996 qu'en 2005. Cela semble être une hypothèse « réaliste » car rien n'explique pourquoi il y aurait plus de repas par habitant en 2005 qu'en 1996. De plus, l'utilisation d'autres sources domestiques de cuisine n'a pas bouleversé les consommations en bois et en charbon de bois (e.g. butane) et la majeure partie de la population utilise toujours préférentiellement ces 2 combustibles. Ces ratios ont ainsi été appliqués aux données de population de 2005, afin d'extrapoler la consommation en charbon de bois et en bois dans les pays étudiés par Brocard (1996). Toutefois, dans certains pays où il n'existe aucune donnée, l'auteur a dû faire l'hypothèse d'utiliser le ratio de pays voisins. Pour éviter de nouvelles sources d'incertitudes et donc des erreurs supplémentaires, nous avons limité l'exploitation des données de Brocard (1996) aux pays où la proportion de consommation de biofuels par habitant est formellement connue. Ainsi, les données provenant directement de l'ONU

relatives à la consommation de charbon de bois et de bois ont donc été utilisées pour les autres pays. Le tableau 3.4 présente des exemples de données de consommations de charbon de bois et de bois obtenues à partir des données ONU (UN, 2005) et de Brocard (1996) actualisées pour l'année 2005 dans quelques pays d'Afrique.

Tableau 3.4. : Exemple de données de consommation (*en kilotonnes*) de charbon de bois et de bois en 2005 obtenues à partir de l'ONU (UN, 2005) et de Brocard (1996, mais actualisé).

		Charbon de bois (CH)	Bois (FW)
Bénin	ONU (2005)	40	3 700
	Brocard (1996) ^a	25	3 723
	Différences relatives (%) ^b	-37,5	0,6
Cameroun	ONU (2005)	362	5 757
	Brocard (1996) ^a	97	10 395
	Différences relatives (%) ^b	-73,2	80,6
Côte d'Ivoire	ONU (2005)	401	5 316
	Brocard (1996) ^a	849	6 789
	Différences relatives (%) ^b	111,7	27,7
Ghana	ONU (2005)	748	12 758
	Brocard (1996) ^a	1027	8213
	Différences relatives (%) ^b	37,3	-35,6
Togo	ONU (2005)	280	3488
	Brocard (1996) ^a	344	2037
	Différences relatives (%) ^b	22,9	-41,6

^a Les données de Brocard (1996) ont été actualisées pour l'année 2005.

^b les différences relatives (%) ont été calculées avec référence aux données ONU (2005).

Le tableau 3.4 montre que les données provenant de deux sources différentes peuvent être très différentes, avec des proportions très diverses. Par exemple en Côte d'Ivoire, la consommation de charbon de bois de Brocard (1996) est plus du double de celle donnée par l'ONU, tandis qu'au Bénin, la différence sur les données du bois entre ces deux sources de données est très réduite (0,6%). Au vu des différences qui existent entre ces deux sources de données, les valeurs de Brocard (1996) qui sont des valeurs issues d'enquêtes de terrain ont été utilisées préférentiellement dans la construction de mon nouvel inventaire.

e) Prise en compte des émissions liées à la fabrication du charbon de bois

Nous avons également pris en compte une nouvelle source d'émissions : le « charcoal making ». Le « charcoal making » est le processus de fabrication du charbon de bois à partir du bois, dans le secteur domestique. Ce procédé émet beaucoup de particules dans l'atmosphère, du fait de leur combustion incomplète (Lacaux et al., 1994 ; Brocard, 1996 ;

Liousse et al., 1996 ; Cachier, 1998), d'où l'importance d'en tenir compte. Nous avons supposé que 50% du bois servait à fabriquer du charbon de bois sur la base des résultats de Liousse et al. (1996). Cette nouvelle mise à jour présente un impact significatif sur la nouvelle répartition des consommations en combustibles, dans la mesure où on transfère la moitié de la consommation de bois au « charcoal making ». Tout comme les sources de feux domestiques, ces émissions sont spatialisées suivant la densité de population et leur temporalité est considérée constante tout au long de l'année.

3.2.2.1. Compilation des données des sources précédentes

Pour l'élaboration du nouvel inventaire, le mieux serait d'utiliser uniquement les résultats du questionnaire. Cependant, nous avons été confrontés au fait que les données issues du questionnaire sont partielles. Nous avons donc décidé de compléter cette source par toutes les autres données décrites au paragraphe précédent (cf. 3.2.2) y compris les données ONU, lesquelles ont servi à l'élaboration de l'inventaire de Junker and Liousse (2008). Par ailleurs, une autre difficulté est apparue du fait que certaines données de consommations provenaient de plusieurs sources (par exemple, la consommation de charbon de bois en Côte d'Ivoire provenait de l'ONU ainsi que du questionnaire et des travaux de Brocard (1996)). Nous avons décidé d'un ordre de « priorité » pour l'acceptation des données en fonction de l'importance et de la « fiabilité » de la source d'information. Nous avons considéré par priorité le questionnaire, les données de l'inventaire des deux roues (2005), les résultats de Brocard (1996) actualisés pour l'année 2005 et les données ONU. Il est à noter que nous aurions pu remplacer toutes les données ONU par celles de l'IEA, mais nous avons pu vérifier que ces deux organismes ont le même niveau d'informations pour l'Afrique, sauf pour les centrales thermiques. Néanmoins, les données de l'IEA ont servi à la prise en compte supplémentaire des centrales thermiques. C'est ainsi que nous avons pu produire un cadastre de consommations de combustibles fossiles et de biofuels par pays et par secteur d'activités.

3.2.2.2. Résultats sur les consommations

Je présente les résultats des consommations de combustibles fossiles et de biofuels en regroupant les pays par sous-région (Afrique du Nord, Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale, Afrique de l'Est et Afrique Australe). Le découpage utilisé est celui de la division de la population des Nations-Unies (ONU) et il a été préféré à celui des entités économiques

reconnues par l'Union Africaine (UA) car ces dernières présentent l'inconvénient de permettre le chevauchement de certaines entités entre elles (un pays pouvant appartenir à plusieurs entités). Une autre raison qui justifie ce choix tient au nombre important de ces entités (entre 8 et 10), pouvant rendre la lecture du rapport fastidieuse. Le corps du rapport est donc organisé par sous région, chaque partie sous-régionale pouvant se lire indépendamment des autres ou de façon complémentaire. Ainsi, les pays qui composent les 5 différentes régions d'Afrique sont :

- l'Afrique du Nord (8 pays) : l'Algérie, l'Egypte, la Libye, le Maroc, la Mauritanie, le Soudan, la Tunisie et le Sahara Occidental.
- l'Afrique de l'Ouest (15 pays) : le Bénin, le Burkina Faso, le Cap-Vert, la Côte d'Ivoire, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée Bissau, le Libéria, le Mali, le Niger, le Nigéria, le Sénégal, la Sierra Léone et le Togo.
- l'Afrique Centrale (8 pays) : le Cameroun, la République Centrafricaine, la République du Congo, la République Démocratique du Congo (RDC-ex-Zaïre), le Gabon, la Guinée Equatoriale, Sao-Tomé & Principe et le Tchad.
- l'Afrique de l'Est (10 pays) : le Burundi, Djibouti, l'Erythrée, l'Ethiopie, le Kenya, l'Ouganda, le Rwanda, les Seychelles, la Somalie et la Tanzanie.
- l'Afrique Australe (15 pays) : L'Afrique du Sud, l'Angola, le Botswana, les Comores, le Lesotho, Madagascar, le Malawi, Îles Maurices, le Mozambique, la Namibie, le Swaziland, la Zambie, le Zimbabwe, La Réunion et les Îles de Ste Hélène.

Dans un premier temps, je présente les résultats du nouvel inventaire de consommations en combustibles fossiles et en biofuels pour 2005 et dans un second temps, je comparerais aux données de consommations des bases de données ONU et IEA.

A l'échelle de toute l'Afrique, la consommation de combustibles fossiles et de biofuels en 2005 est de 1318 Tg. Cette consommation se répartit entre 628 Tg de biofuels (48%) et 690 Tg de combustibles fossiles (52%). Du point de vue des secteurs d'activités, c'est dans le secteur domestique que l'on note les plus fortes consommations de combustibles fossiles et de biofuels. Ainsi, on relève 576,7 Tg dans le secteur domestique (44%), 388,9 Tg dans le secteur industriel (29%), 262,4 Tg dans les centrales thermiques (20%) et 89,8 Tg dans le secteur trafic (7%). L'analyse régionale de la répartition des consommations montre que la région Afrique Australe représente 33%, suivie de l'Afrique du Nord avec 26%. La troisième

région consommatrice est l'Afrique de l'Ouest avec 18%, suivie de l'Afrique de l'Est avec 16% enfin, l'Afrique Centrale avec 7%. La figure 3.3 présente les proportions de consommations de combustibles fossiles et de biofuels du nouvel inventaire par zone géographique en Afrique pour 2005. Il s'agit des données dans 4 secteurs d'activités : trafic, domestique, industrie et centrales thermiques.

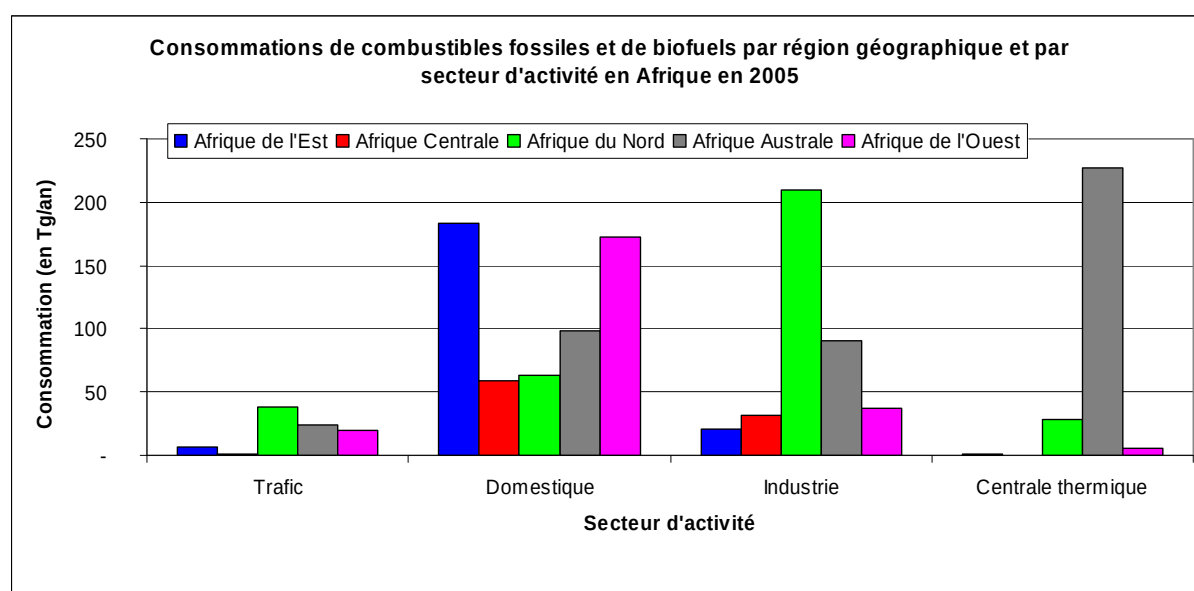


Figure 3.3 : Consommations de combustibles fossiles et de biofuels par région géographique et par secteur d'activité en Afrique en 2005.

Sur la figure 3.3, on constate que les consommations des régions d'Afrique varient d'un secteur d'activité à un autre. Ainsi, dans le secteur du trafic, c'est la région de l'Afrique du Nord qui a la plus grande consommation avec 38,6 Tg, soit 43% du total, suivie de l'Afrique Australe et de l'Ouest avec respectivement 23,2 Tg (26%) et 19,3 Tg (~22%). En nous intéressant au secteur domestique, c'est l'Afrique de l'Est qui avec ses 183,5 Tg (32%) est en tête, suivie de l'Afrique de l'Ouest avec 172,7 Tg (30%) et l'Afrique Australe avec 17% soit 98,7 Tg. Au niveau des industries, on observe une grande disparité entre les régions. Aussi, l'Afrique du Nord consomme plus de la moitié du total avec ses 237,183 Tg soit 54%, suivie de l'Afrique Australe avec 23% (90,559 Tg). Les autres régions consomment chacune moins de 10% du total. Enfin, concernant les centrales thermiques, l'Afrique Australe représente 87% de la consommation totale suivie de l'Afrique du Nord avec 11%. Quand aux 3 autres régions, elles représentent environ 2% du total de la consommation dans ce secteur.

Ces fortes disparités dans les secteurs des industries et des centrales thermiques s'expliquent par les différents niveaux de développement. En effet, le niveau de développement d'un pays

est étroitement lié à l'importance de son secteur industriel. En considérant les pays industrialisés (développés) de l'Europe Occidentale, on aurait tendance à voir de plus fortes valeurs de consommations dans les secteurs des industries et des centrales thermiques contrairement aux pays africains. Notons qu'en Afrique, il n'y a **aucun pays développé** en tenant compte d'une classification basée sur le Produit Intérieur Brut (PIB) (Junker and Liousse, 2008). En effet, la majorité des pays africains (44 sur un total de 56 pays) sont des pays en voie de développement, les autres étant des pays semi développés (13/56 pays). De manière plus détaillée, on relève que sur les 15 pays que compte l'Afrique Australe, il y a 7 pays semi-développés. 4 pays sur 8 en Afrique du Nord sont semi-développés. Par contre, dans les 3 autres régions, il y a très peu de pays semi-développés : en Afrique de l'Est, seul un pays (Seychelles) sur les 10 fait partie des pays semi-développés. Il en est de même en Afrique Centrale où seul le Gabon est un pays semi-développé sur les 8 pays de la région. L'Afrique de l'Ouest apparaît comme la région la moins développée, tous les 14 pays de cette région étant des pays en voie de développement.

Les données de consommations en combustibles fossiles et en biofuels varient avec l'importance de la population, en particulier dans les secteurs du trafic et du domestique. En 2007 selon l'ONU (UN, 2007), la population d'Afrique de l'Ouest était de 281 millions d'habitants suivie de l'Afrique de l'Est avec 220 millions et l'Afrique du Nord avec 205 millions. L'Afrique Australe est en 4^{ème} position avec ses 156 millions d'habitants et l'Afrique Centrale avait 102 millions d'habitants. Aussi, dans le secteur domestique, l'Afrique de l'Est et l'Afrique de l'Ouest sont les plus grands consommateurs en combustibles fossiles et biofuels avec 62% du total de la consommation dans ce secteur. L'analyse des tendances de consommations est très complexe car d'autres facteurs sont à prendre en compte. Il s'agit entre autres d'indicateurs comme les tendances des marchés mondiaux, les importations, les exportations et dans certains cas les crises socio-politiques (par exemple les conflits armés en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale,...). Cette première analyse nous fournit une idée des comportements régionaux du point de vue des consommations. Par la suite, je présente une analyse détaillée tenant compte de la consommation des combustibles fossiles et des biofuels par région.

a) Afrique de l'Est

Dans cette région de l'Afrique, on dénombre 10 pays. Les consommations par secteurs sont de 6,859 Tg (soit 3%) dans le secteur du trafic, de 183,496 Tg (soit 86%) dans le domestique, de 20,448 Tg (soit 10%) dans le secteur industriel et de 1,264 Tg (soit 1%) dans les centrales

thermiques (cf. figure 3.3). Le tableau 3.5 présente les proportions entre les consommations de combustibles fossiles et de biofuels des pays de l'Afrique de l'Est en 2005, selon les différents secteurs d'activités.

Tableau 3.5. : Proportions de consommations des combustibles fossiles et des biofuels par pays et par secteur d'activité en Afrique de l'Est pour 2005.

Pays	Niveau de Développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Kenya	1	Trafic	40,8
Ethiopie	1	Trafic	26,3
Tanzanie	1	Trafic	20,5
Ouganda	1	Trafic	4,9
Erythrée	1	Trafic	1,7
5 autres pays	/	Trafic	5,8
Ethiopie	1	Domestique	40,5
Tanzanie	1	Domestique	25,3
Ouganda	1	Domestique	14,6
Kenya	1	Domestique	10,2
Erythrée	1	Domestique	0,3
5 autres pays	/	Domestique	9,1
Ethiopie	1	Industrie	45,3
Kenya	1	Industrie	30,9
Tanzanie	1	Industrie	19,6
Ouganda	1	Industrie	3,1
Erythrée	1	Industrie	0,04
5 autres pays	/	Industrie	1,1
Erythrée	1	Centrale thermique	50,0
Kenya	1	Centrale thermique	42,7
Tanzanie	1	Centrale thermique	7,1
Ethiopie	1	Centrale thermique	0,2
5 autres pays	/	Centrale thermique	/

* 1 pour les pays en voie de développement

Au vu du tableau 3.5, on peut souligner que les pays plus grands consommateurs dans le secteur du trafic sont le Kenya avec 40,8%, l'Ethiopie avec 26,3% et la Tanzanie avec 20,5%. Chacun des 5 pays restants représente moins de 5% de la consommation totale. Il ressort que c'est la bagasse qui est le biofuel le plus consommé, avec près de 47% du total, suivi par le diesel avec 28%. Dans le secteur domestique, ce sont l'Ethiopie avec 40,5%, la Tanzanie avec 25,3% et l'Ouganda avec 14,6% qui sont les plus grands consommateurs. Les fuels les plus utilisés sont le bois directement et indirectement le bois servant à la fabrication du charbon de bois (« charcoal making ») (40% pour chacun). Ces proportions sont identiques car selon notre hypothèse émise dans la partie 3.1.2, nous avons considéré que 50% du bois servait à la fabrication de charbon de bois (« charcoal making »).

Les pays plus grands consommateurs de combustibles au niveau des industries sont les mêmes qu'au niveau du trafic, à savoir l'Ethiopie avec 45,3%, le Kenya avec 30,9% et la Tanzanie avec 19,6%. Par ailleurs, ce sont les déchets animaux qui sont les plus utilisés dans ce secteur industriel, avec 43% de la consommation totale. L'Afrique de l'Est est une région très peu développée selon les PIB nationaux car il y a un seul pays semi-développé (Seychelles avec 100.000 habitants en 2005) et 9 pays en voie de développement qui composent cette région d'Afrique. Cela a pour conséquence une « faible » consommation d'électricité et donc peu de centrales thermiques.

Ainsi, seuls 4 pays disposent de centrales thermiques dans la région. Aussi, la consommation des centrales thermiques est due essentiellement à l'Erythrée (50,0% du total) et au Kenya (42,7% du total). On trouve ensuite la Tanzanie avec 7,1% et l'Ethiopie avec 0,2%. C'est le bois qui est le combustible le plus utilisé dans ce secteur avec 45% de la consommation. En résumé, ce sont les pays tels que l'Ethiopie, la Tanzanie et le Kenya/Ouganda qui sont les plus grands consommateurs dans cette région avec respectivement 40,3%, 24,5%, 13,4% et 13,1% du total de la consommation. Concernant les combustibles, ce sont le bois (35%) et les déchets animaux (18%) qui sont les plus utilisés. Le bois servant à la fabrication du charbon de bois (« charcoal making ») représente près de 34%.

b) Afrique Centrale

En Afrique Centrale, la figure 3.3 laisse transparaître une forte consommation dans le secteur domestique. Ce secteur représente 63% (58,7 Tg) de la consommation totale de la région suivie par le secteur industriel avec 34% (31,5 Tg). Le transport représente 2% (1,5 Tg) contre à peine 1% (0,5 Tg) pour les centrales thermiques. Cela s'explique par le fait qu'il s'agit d'une région où la majorité des pays sont en voie de développement. Le tableau 3.6 présente les proportions des consommations de combustibles fossiles et de biofuels en Afrique Centrale en 2005, en fonction des différents secteurs d'activités.

Tableau 3.6. : Proportions des consommations de combustibles fossiles et de biofuels par pays et par secteur d'activité en Afrique Centrale en 2005.

Pays	Niveau de développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Cameroun	1	Trafic	48,7
Congo	1	Trafic	15,4
Gabon	2	Trafic	10,3
RDC (ex-Zaïre)	1	Trafic	10,0
Tchad	1	Trafic	9,4
3 autres pays	/	Trafic	6,3
RDC (ex-Zaïre)	1	Domestique	62,8
Cameroun	1	Domestique	23,9
Tchad	1	Domestique	5,0
Congo	1	Domestique	3,9
Gabon	2	Domestique	1,8
3 autres pays	/	Domestique	2,5
Gabon	2	Industrie	39,1
Congo	1	Industrie	23,4
Cameroun	1	Industrie	23,2
RDC (ex-Zaïre)	1	Industrie	13,8
Tchad	1	Industrie	0,4
3 autres pays	/	Industrie	0,1
Cameroun	1	Centrale thermique	30,6
Congo	1	Centrale thermique	28,0
RDC (ex-Zaïre)	1	Centrale thermique	26,9
Gabon	2	Centrale thermique	14,5
3 autres pays	/	Centrale thermique	/

* 1 pour les pays en voie de développement et 2 pour les pays semi-développés

De manière détaillée par secteurs d'activités (cf. tableau 3.6), on remarque que le Cameroun représente 48,7% des consommations totales dans le secteur du trafic. La proportion individuelle des autres pays ne dépasse pas 15%, sauf au Congo avec 15,4%. Cette consommation est essentiellement imputée au diesel à 42% et à l'essence à 33% de la consommation totale. Dans le secteur domestique, c'est la République Démocratique du Congo (ex-Zaïre) qui consomme près de 62,8% du total dans cette région. Le Cameroun apparaît en 2^{ème} position avec 23,9%, les autres pays ne dépassent guère 5%. C'est le bois qui est le plus utilisé dans cette région avec 36% du total de la consommation, suivi par les déchets animaux avec 22%. Quant au secteur des industries, notons que le Gabon est le seul pays semi-développé de la région, avec une forte activité industrielle à 39,1%. Le Congo et le Cameroun suivent avec des proportions respectives de 23,4 et 23,2%. Ce sont les déchets animaux qui sont le plus utilisés dans ce secteur d'activité avec 14% du total. Notons que les déchets animaux sont utilisés comme combustibles au même titre que le charbon dans les industries. Au niveau des centrales thermiques, la plus grande part de la consommation est

attribuée au Cameroun avec 30,6% du total suivi du Congo avec 28,0%, de la République Démocratique du Congo avec 26,9% et du Gabon avec 14,5%. Les combustibles fossiles et les biofuels les plus utilisés par l'industrie thermique sont la bagasse (57%) et le diesel (28%). Globalement, la République Démocratique du Congo et le Cameroun, avec respectivement 45% et 24% du total de la consommation dans cette région, apparaissent comme les plus grands consommateurs de combustibles fossiles et de biofuels.

c) Afrique du Nord

En Afrique du Nord, c'est le secteur industriel qui est plus grand consommateur de combustibles fossiles et de biofuels avec 209,3 Tg soit 62% du total contre 63,3 Tg (19%) pour le secteur domestique (cf. figure 3.3). Avec ses 38,6 Tg (11%), le secteur du trafic arrive en 3^{ème} position et enfin, on retrouve le secteur des centrales thermiques avec 27,9 Tg soit 8%. Ce constat est justifié par le fait que 4 des 8 pays de cette région sont des pays semi-développés. Le tableau 3.7 présente les proportions des consommations de combustibles fossiles et de biofuels des pays d'Afrique du Nord en 2005, en fonction des différents secteurs d'activités.

Tableau 3.7. : Proportions des consommations de combustibles fossiles et de biofuels par pays et par secteur d'activité en Afrique du Nord en 2005.

Pays	Niveau de développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Egypte	1	Trafic	44,3
Algérie	2	Trafic	20,5
Soudan	1	Trafic	17,3
Libye	2	Trafic	9,4
Maroc	2	Trafic	3,2
3 autres pays	/	Trafic	5,3
Soudan	1	Domestique	27,0
Egypte	1	Domestique	25,6
Maroc	2	Domestique	23,3
Algérie	2	Domestique	16,3
Libye	2	Domestique	2,0
3 autres pays	/	Domestique	5,9
Algérie	2	Industrie	41,6
Egypte	1	Industrie	33,9
Libye	2	Industrie	13,0
Soudan	1	Industrie	5,5
Maroc	2	Industrie	3,7
3 autres pays	/	Industrie	2,4

* 1 pour les pays en voie de développement et 2 pour les pays semi-développés

Pays	Niveau de développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Maroc	2	Centrale thermique	44,9
Egypte	1	Centrale thermique	19,8
Libye	2	Centrale thermique	19,0
Soudan	1	Centrale thermique	10,0
Algérie	2	Centrale thermique	4,3
3 autres pays	/	Centrale thermique	2,0

* 1 pour les pays en voie de développement et 2 pour les pays semi-développés

Le descriptif du tableau 3.7, nous révèle que dans le secteur du trafic, l'Egypte apparaît comme le pays le plus grand consommateur avec 44,3% des parts totales. L'Egypte est suivi de l'Algérie avec 20,5% et du Soudan avec 17,3%. Au niveau des combustibles, c'est le diesel qui est le plus utilisé avec 43% de la consommation totale, suivi par l'essence avec 24%. Le Soudan est le plus grand consommateur dans cette région au niveau du secteur domestique, avec une part de 27,0% du total. Il est suivi de près par l'Egypte avec 25,6% et le Maroc avec 23,3%. Dans ce secteur domestique, c'est le bois le plus consommé, avec une proportion de 32% de la consommation totale. Dans les industries, c'est l'Algérie qui avec ses 41,6% de la consommation totale est le 1^{er} consommateur de la région. Il est suivi par l'Egypte avec 33,9% et la Libye et ses 13,0%. En nous intéressant aux combustibles fossiles et aux biofuels, on constate que c'est le gaz naturel avec ses 19% qui est le plus utilisé dans les industries. Concernant les centrales thermiques, c'est le Maroc avec ses 44,9% qui est en première position des pays consommateurs de la région, suivi par l'Egypte avec 19,8% et la Libye avec 19,0%. Les combustibles les plus utilisés dans ce secteur sont le charbon noir (coal) avec 49% et le diesel avec 14% de la consommation totale. En somme, en ne faisant aucune distinction entre les différents secteurs d'activités, ce sont l'Egypte et l'Algérie les plus grands consommateurs en Afrique du Nord avec respectivement 32% et 31% et, le combustible le plus utilisé étant le gaz naturel avec 29%.

d) Afrique Australe

L'Afrique Australe, première région consommatrice de combustibles en Afrique, a une consommation de 227,5 Tg au niveau des centrales thermiques (cf. figure 3.3), ce qui représente 87% de la consommation totale des centrales thermiques en Afrique. En considérant l'Afrique Australe, le secteur des centrales thermiques représente 52% de la consommation de cette région. Le secteur domestique est le 2^{ème} secteur consommateur avec 98,7 Tg (soit 22%) suivi des 90,6 Tg (21%) du secteur industriel. Le trafic est le secteur le moins consommateur dans cette région avec 23,5 Tg (5%). Le tableau 3.8 présente les

proportions des consommations des combustibles fossiles et des biofuels des pays d'Afrique Australe en 2005, en fonction des différents secteurs d'activités.

Tableau 3.8. : Proportions des consommations des combustibles fossiles et des biofuels par pays et par secteur d'activité en Afrique Australe en 2005.

Pays	Niveau de développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Afrique du Sud	2	Trafic	75,8
Zambie	1	Trafic	4,5
Malawi	1	Trafic	4,4
Angola	1	Trafic	3,3
Zimbabwe	1	Trafic	2,5
Mozambique	1	Trafic	1,3
9 autres pays	/	Trafic	8,2
Afrique du Sud	2	Domestique	33,1
Mozambique	1	Domestique	18,7
Zimbabwe	1	Domestique	11,8
Zambie	1	Domestique	11,6
Angola	1	Domestique	8,2
Malawi	1	Domestique	3,6
9 autres pays	/	Domestique	13,0
Afrique du Sud	2	Industrie	77,5
Angola	1	Industrie	5,7
Zambie	1	Industrie	3,1
Zimbabwe	1	Industrie	2,9
Mozambique	1	Industrie	2,7
Malawi	1	Industrie	0,03
9 autres pays	/	Industrie	8,0
Afrique du Sud	2	Centrale thermique	98,2
Zimbabwe	1	Centrale thermique	1,2
13 autres pays	/	Centrale thermique	0,6

* 1 pour les pays en voie de développement et 2 pour les pays semi-développés

De manière plus détaillée, l'Afrique du Sud apparaît comme le pays le plus grand consommateur de cette région, quel que soit le secteur d'activité (cf. tableau 3.8). En effet, dans le secteur du trafic, l'Afrique du Sud représente 75,8% des consommations totales. Au niveau du secteur domestique, ce même pays représente 33,1% du total, suivi par le Mozambique avec 18,7%. Dans le secteur des industries, l'Afrique du Sud représente 77,5% des consommations totales. Ce pays apparaît comme le « seul » consommateur dans le secteur des centrales thermiques avec 98,2% de la consommation totale. Les combustibles les plus consommés dans le secteur du trafic sont l'essence et le diesel, pour respectivement 45% et 33% de la consommation totale. Au niveau de l'activité domestique, c'est le bois qui est le plus utilisé avec 30%. Par contre, c'est le charbon noir (coal) avec 18% et les déchets animaux avec 12% qui sont les plus consommés dans le secteur des industries. Au niveau des

centrales thermiques, c'est le charbon noir qui est majoritairement consommé (97%). Ainsi, l'Afrique du Sud est de loin le pays qui consomme le plus de combustibles fossiles et de biofuels dans cette région, avec 73% du total des consommations. On peut noter que le 2^{ème} pays consommateur de cette région est le Mozambique avec à peine 5%. La forte consommation en Afrique du Sud est due au charbon noir (55%), une spécificité de cette région.

e) Afrique de l'Ouest

Il s'agit de la région d'Afrique qui compte le plus grand nombre d'habitants avec ses 281 millions d'habitants contre 220 millions d'habitants en Afrique de l'Est en 2007 (ONU, 2007). Ceci dit, cette région consomme environ 172,7 Tg (74% du total) dans le secteur domestique, 37,1 Tg (16%) dans le secteur des industries, 19,3 Tg (8%) dans le secteur du trafic et 5,3 Tg (2%) dans le secteur des centrales thermiques. Le tableau 3.9 présente les proportions des consommations sectorielles de combustibles fossiles et de biofuels des pays de l'Afrique de l'Ouest en 2005.

Tableau 3.9. : Proportions des consommations des combustibles fossiles et des biofuels par pays et par secteur d'activité en Afrique de l'Ouest en 2005.

Pays	Niveau de Développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Nigéria	1	Trafic	65,9
Bénin	1	Trafic	7,9
Ghana	1	Trafic	5,7
Sénégal	1	Trafic	5,2
Côte d'Ivoire	1	Trafic	3,2
10 autres pays	/	Trafic	12,1
Nigéria	1	Domestique	61,9
Ghana	1	Domestique	9,6
Côte d'Ivoire	1	Domestique	5,7
Bénin	1	Domestique	3,0
Sénégal	1	Domestique	1,5
10 autres pays	/	Domestique	18,3
Nigéria	1	Industrie	66,3
Côte d'Ivoire	1	Industrie	15,0
Sénégal	1	Industrie	6,6
Ghana	1	Industrie	5,7
Bénin	1	Industrie	1,1
10 autres pays	/	Industrie	5,3

* 1 pour les pays en voie de développement

Pays	Niveau de Développement*	Secteur d'activité	Proportion (%)
Nigéria	1	Centrale thermique	40,3
Ghana	1	Centrale thermique	37,5
Sénégal	1	Centrale thermique	14,1
Côte d'Ivoire	1	Centrale thermique	6,5
Bénin	1	Centrale thermique	1,3
10 autres pays	/	Centrale thermique	0,3

* 1 pour les pays en voie de développement

Dans le tableau 3.9, un pays apparaît comme le plus grand consommateur de combustibles fossiles et de biofuels d'Afrique de l'Ouest. Il s'agit du Nigéria avec près de 65,9% de la consommation totale dans le secteur du trafic. Il représente également 61,9% des consommations au niveau domestique, 66,3% au niveau industriel et 40,3% au niveau des centrales thermiques. Dans ce dernier secteur, le Nigéria est suivi de près par le Ghana avec 37,5% de la consommation totale. Les combustibles fossiles et les biofuels les plus consommés sont l'essence et le diesel, avec respectivement 41% et 31% de la consommation totale de la région dans le secteur du trafic. Notons que le fuel dû aux véhicules à deux roues représente près de 14% de la consommation dans ce secteur d'activité. Dans le secteur domestique, ce sont les déchets animaux ainsi que le bois qui sont les plus utilisés avec respectivement des proportions de 35% et 29%. Par ailleurs, les déchets animaux sont très utilisés dans les industries en Afrique de l'Ouest, avec une proportion de près de 38% du total de la région. Au niveau des centrales thermiques, on constate que le diesel avec 25% et le fuel lourd avec 25% du total, sont les combustibles fossiles les plus utilisés. Tout comme l'Afrique du Sud en Afrique Australe, le Nigéria apparaît donc comme le leader de cette région au niveau des consommations, avec près de 62% de la consommation totale en Afrique de l'Ouest. Il est suivi par la Côte d'Ivoire avec à peine 7%. Les combustibles fossiles tels que les déchets animaux (32%) et les biofuels comme le bois (21%) sont les plus consommés dans cette région de l'Afrique.

3.2.3. Emissions

Notre analyse ci-dessus vient de mettre en exergue les spécificités de chaque région d'Afrique (e.g. l'utilisation très répandue du charbon noir en Afrique Australe comme on l'a vu également au chapitre 1 et, du bois et des déchets animaux en Afrique de l'Ouest). On relève aussi que les pays les plus grands consommateurs sont les pays les plus peuplés de leur région

(Nigéria (Afrique de l'Ouest) avec 141,4 millions d'habitants et l'Afrique du Sud (Afrique Australe) avec 46,9 millions d'habitants en 2005). Aussi, cette consommation devrait croître fortement car le nombre d'habitants estimés en 2020 par l'ONU devrait connaître en moyenne une augmentation relative (p/r à 2005) de l'ordre de 33%. On imagine déjà l'impact que de telles consommations de combustibles fossiles et de biofuels auront sur les émissions d'aérosols carbonés de combustion que nous allons à présent décrire.

En nous basant sur les relations de Junker and Liousse (2008), nous avons calculé les émissions de carbone suie et de carbone organique primaire en tenant compte des facteurs d'émissions propres à chaque combustible fossile ou biofuel considéré, du niveau de développement du pays et du secteur d'activité. Avant de présenter nos résultats, nous allons présenter la mise à jour à laquelle nous avons procédé sur les facteurs d'émissions issus de l'inventaire global de Junker and Liousse (2008).

3.2.3.1. Facteurs d'émissions

Compte tenu de l'insertion de nouvelles données de consommations relatives à certains combustibles fossiles et aux biofuels (cf. partie 3.1.3), il a été nécessaire d'introduire les facteurs d'émissions des sources suivantes : « charcoal making », combustible des moteurs 2 temps des engins à deux roues et centrales thermiques. Le tableau 3.10 présente les valeurs des facteurs d'émissions estimés à partir de différentes références bibliographiques.

Tableau 3.10 : Facteurs d'émissions introduits dans le nouvel inventaire tenant compte de l'aérosol (BC ou OCp), du fuel, du secteur d'activité et du niveau de développement du pays.

Niveau de développement*	Secteur d'activité	Code ONU des fuels/biofuels**	Aérosol	EF (BC) en g/kg	Aérosol	EF (OCp) en g/kg
1	Domestique	CHM	BC	0,5063	OC	4,759
2	Domestique	CHM	BC	0,5063	OC	4,759
3	Domestique	CHM	BC	0,5063	OC	4,759
1	Centrale thermique	CL	BC	0,072	OC	0,2640
2	Centrale thermique	CL	BC	0,072	OC	0,2640
3	Centrale thermique	CL	BC	0,036	OC	0,132
1	Centrale thermique	DL	BC	0,10	OC	0,075
2	Centrale thermique	DL	BC	0,028	OC	0,021
3	Centrale thermique	DL	BC	0,02	OC	0,015

* Les niveaux de développement 1, 2 et 3 correspondent respectivement aux pays en voie de développement, aux pays semi-développés et aux pays développés.

** CHM pour charcoal making, CL pour charbon noir (coal), DL pour diesel, BS pour bagasse, RF pour fuel lourd (residual fuel oil), OK coke-oven-coke, FW pour bois (fuelwood), FS pour feedstocks, OB pour others biofuels et TWG pour two-wheel gasoline (moteurs à 2 temps).

Niveau de développement*	Secteur d'activité	Code ONU des fuels/biofuels**	Aérosol	EF (BC) en g/kg	Aérosol	EF (OCp) en g/kg
1	Centrale thermique	BS	BC	0,103	OC	0,31
2	Centrale thermique	BS	BC	0,08	OC	0,26
3	Centrale thermique	BS	BC	0,08	OC	0,26
1	Centrale thermique	RF	BC	0,035	OC	0,035
2	Centrale thermique	RF	BC	0,009	OC	0,009
3	Centrale thermique	RF	BC	0,007	OC	0,007
1	Centrale thermique	OK	BC	0,072	OC	0,264
2	Centrale thermique	OK	BC	0,072	OC	0,264
3	Centrale thermique	OK	BC	0,036	OC	0,132
1	Centrale thermique	FW	BC	0,103	OC	0,31
2	Centrale thermique	FW	BC	0,08	OC	0,26
3	Centrale thermique	FW	BC	0,08	OC	0,26
1	Centrale thermique	FS	BC	0,015	OC	0,015
2	Centrale thermique	FS	BC	0,015	OC	0,015
3	Centrale thermique	FS	BC	0,003	OC	0,003
1	Centrale thermique	OB	BC	0,103	OC	0,31
2	Centrale thermique	OB	BC	0,08	OC	0,26
3	Centrale thermique	OB	BC	0,08	OC	0,26
1	Trafic	TWG	BC	2,31	OC	30,56
2	Trafic	TWG	BC	2,31	OC	30,56
3	Trafic	TWG	BC	0,28	OC	7,36

* Les niveaux de développement 1, 2 et 3 correspondent respectivement aux pays en voie de développement, aux pays semi-développés et aux pays développés.

** CHM pour charcoal making, CL pour charbon noir (coal), DL pour diesel, BS pour bagasse, RF pour fuel lourd (residual fuel oil), OK coke-oven-coke, FW pour bois (fuelwood), FS pour feedstocks, OB pour others biofuels et TWG pour two-wheel gasoline (moteurs à 2 temps).

Les facteurs d'émissions du « charcoal making », extraits de Lioussé et al. (1996), sont identiques pour les trois niveaux de développement. Ceci implique qu'on ne considère pas de différences de technologie dans la fabrication du charbon de bois dans les différents pays. Par ailleurs, les facteurs d'émissions des centrales thermiques dans les pays développés sont tirés de Bond et al. (2004). Pour les pays semi-développés et en voie de développement, les facteurs d'émissions des centrales thermiques ont été calculés sur la base des facteurs d'émissions de Bond et al. (2004) des pays développés, selon la même méthodologie que celle dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008). Les facteurs d'émissions du combustible pour les véhicules à deux roues (TWG) dans le trafic sont issus d'Assamoi and Lioussé (2010) (cf. chapitre 2). Notons que la liste détaillée de tous les facteurs d'émissions relatifs au carbone suie et au carbone organique primaire est présentée en Annexe 3.

3.2.3.2. Nouvelle spatialisation

De manière générale, les données d'émissions de carbone suie (BC) et de carbone organique primaire (OCp) par pays sont spatialisées sur la base de la densité de population normalisée. Cette spatialisation se faisait jusque lors avec une résolution de 1° par 1° (GISS, 1984). Dans notre travail, nous avons utilisé une nouvelle spatialisation de la densité de population normalisée à une résolution horizontale de $0,25^\circ$ par $0,25^\circ$ (CIESIN, 2005). La figure 3.4 montre l'exemple des émissions de carbone organique primaire (OCp) de Junker and Liousse (2008) respectivement spatialisées avec les anciennes (figure de gauche) et les nouvelles densités de population (figure de droite).

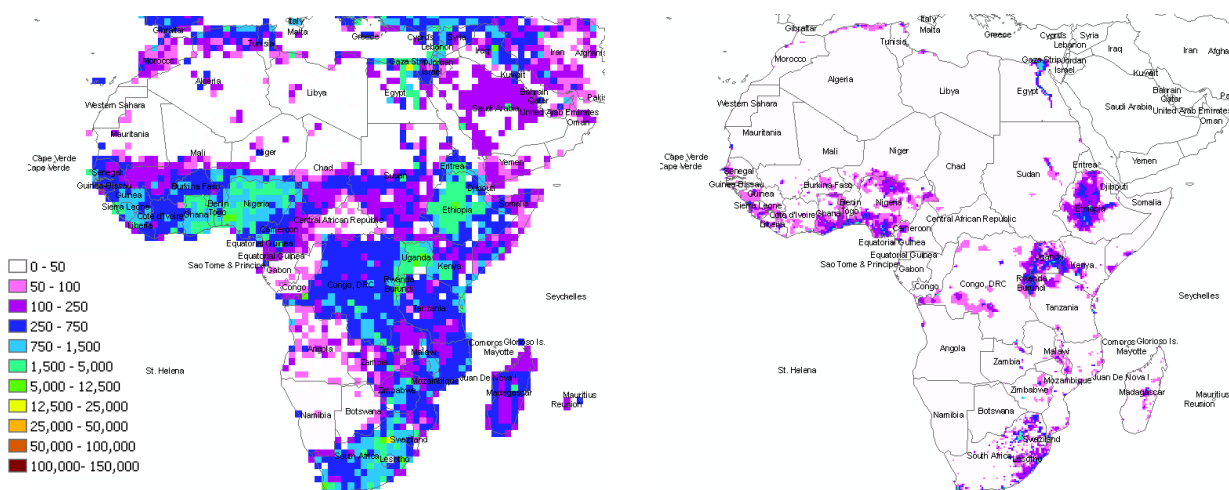


Fig. 3.4 : Emissions de carbone organique primaire en 2005 issues de l'inventaire de Junker and Liousse (2008) : à gauche avec l'ancienne résolution ($1^\circ \times 1^\circ$), à droite avec la nouvelle résolution ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$).

Cette représentation graphique (figure 3.4) semble indiquer que les émissions sont plus fortes sur la carte à $1^\circ \times 1^\circ$ par rapport à celle à $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Il est évident que les résultats de la modélisation issue de ces cadastres d'émissions de carbone suie et de carbone organique primaire avec la spatialisation à grande résolution ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) devraient mieux représenter les concentrations hétérogènes observées en zones rurales et urbaines. C'est ce que nous étudierons au chapitre 5.

3.2.3.3. Résultats sur les émissions d'aérosols carbonés de combustion

Pour une meilleure lisibilité du document, je présenterai dans une première partie les résultats relatifs aux émissions de carbone suie (BC), puis, je passerais à ceux du carbone organique primaire (OCp). Notons que les résultats sur les émissions risquent d'être totalement différents de ceux des consommations. En effet, certains combustibles comme le gaz naturel est très consommé en Afrique du Nord par exemple, ne donnant pas lieu à des émissions en particules carbonées, les facteurs d'émissions s'y rapportant étant quasi-nuls.

3.2.3.3.1. Emissions de carbone suie (BC)

Globalement, les émissions de carbone suie par les combustibles fossiles et les biofuels en Afrique en 2005 s'élèvent à 0,69 Tg. Les émissions se répartissent entre 0,48 Tg de biofuels (70%) et 0,21 Tg de combustibles fossiles (30%). Du point de vue sectoriel, c'est dans le secteur domestique que les émissions sont les plus importantes avec 0,44 Tg (63%). Il est suivi par le secteur du trafic avec 0,15 Tg (22%), le secteur des industries avec 0,08 Tg (12%) et les centrales thermiques avec 0,02 Tg (3%). Cette répartition est différente de celle avec les données de consommation. En effet, la position des secteurs industriels et du trafic est inversée lorsqu'on considère les données de consommations mais par contre, le positionnement des secteurs domestiques et des centrales thermiques reste inchangé (à cause des faibles valeurs des facteurs d'émissions du gaz naturel).

Considérant chaque région, on constate que la région la plus émettrice en carbone suie est l'Afrique de l'Ouest avec 0,19 Tg (28%) suivie de l'Afrique Centrale avec 0,16 Tg (24%). La région Afrique Australe qui était la plus grande consommatrice de combustibles fossiles et de biofuels se retrouve en troisième position avec 0,15 Tg soit 21%. L'Afrique du Nord, quant à elle, émet 0,13 Tg (19%), en fin on retrouve l'Afrique Centrale avec 0,05 Tg (8%). Ce changement de classement s'explique en partie par le fait que l'Afrique Australe et l'Afrique du Nord sont majoritairement formées de pays semi-développés avec des facteurs d'émissions moins importants que ceux des autres régions, composées essentiellement de pays en voie de développement. On peut relever ainsi que le facteur d'émission du diesel dans le secteur du trafic est de 2 g/kg pour les pays semi-développés contre 5 g/kg pour les pays en voie de développement. A noter que les facteurs d'émissions ne sont pas toujours différents d'un pays semi-développé à un pays en voie de développement comme le montre l'exemple du charbon

de bois dont le facteur d'émission en carbone suie est fixé à 0,75 g/kg, quel que soit le niveau de développement du pays.

Pour la suite, nous procédons à une étude sectorielle et régionale des émissions de carbone suie considérant les cinq régions géographiques définies plus haut. La figure 3.5 présente les émissions de carbone suie par zones géographiques et par secteurs d'activités en Afrique en 2005.

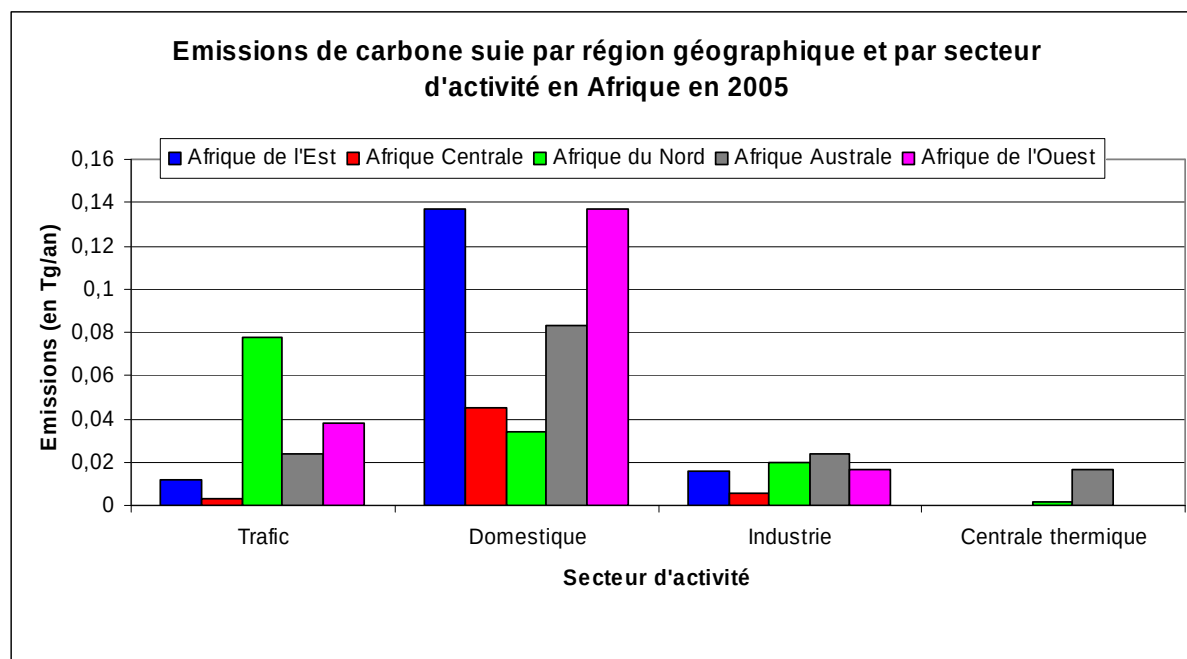


Fig. 3.5 : Emissions de carbone suie par région géographique et par secteur d'activité en Afrique en 2005.

Les émissions de carbone suie présentées sur la figure 3.5 montrent que chaque région présente un profil particulier, du point de vue du secteur d'activité dans lequel ses émissions sont les plus importantes. Considérant le secteur du trafic, c'est l'Afrique du Nord qui émet le plus de carbone suie avec la moitié des émissions de ce secteur qui lui sont imputée, soit 0,08 Tg (50%). Il est suivi par l'Afrique de l'Ouest avec 0,04 Tg (25%), l'Afrique Australe avec 0,02 Tg (16%) et l'Afrique de l'Est avec 0,01 Tg (8%). On retrouve en fin l'Afrique Centrale avec ses 0,003 Tg (2%). Cette classification des émissions de carbone suie dans ce secteur du trafic est sensiblement la même que celle des consommations, à part l'inversion entre la position de l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique Australe due aux choix des facteurs d'émissions comme discuté. Au niveau du secteur domestique, les trois régions les plus émettrices en carbone suie sont également les plus consommatrices. Il s'agit de l'Afrique de l'Est et de

l'Afrique de l'Ouest avec sensiblement les mêmes proportions (31% soit environ 0,14 Tg) et, l'Afrique Australe avec 19% (soit 0,08 Tg). Du point de vue des industries, les différences des émissions en carbone suie entre les différentes régions sont moins marquées que pour les consommations. Cependant, c'est l'Afrique Australe qui émet le plus de carbone suie dans ce secteur avec 0,024 Tg (30%). L'Afrique du Nord émet 0,020 Tg (24%), suivie de l'Afrique de l'Est et de l'Afrique de l'Ouest avec sensiblement les mêmes émissions (0,016 Tg soit 20%).

Dans le secteur des centrales thermiques, le classement observé au niveau des consommations est le même que celui des émissions de carbone suie. C'est un secteur largement dominé par l'Afrique Australe avec 90% du total des émissions soit 0,016 Tg et ce, à cause du fuel employé (charbon noir-coal). L'Afrique du Nord n'a que 8%, soit 0,002 Tg. Enfin, les trois régions restantes représentent 2% des émissions de carbone suie dans ce secteur.

En résumé, on constate que les régions les plus développées (e.g. l'Afrique Australe et l'Afrique du Nord) présentent des émissions de carbone suie du même ordre de grandeur que celles des régions les moins développées, en particulier dans le secteur industriel. Cela vient du fait que les technologies utilisées dans ces régions sont plus « propres » (facteurs d'émissions faibles) et donc les fortes consommations dans ce secteur n'engendrent que très peu d'émissions de carbone suie. Après cette analyse, nous nous focaliserons sur chaque région pour mieux appréhender les spécificités régionales.

a) Afrique de l'Est

En Afrique de l'Est, la répartition des émissions par secteur d'activité est la suivante (figure 3.5). Le secteur domestique représente 83% (0,14 Tg) des émissions de carbone suie. Il est suivi par le secteur industriel avec 9% (0,016 Tg), le secteur du trafic avec 7% (0,012 Tg) et enfin, les centrales thermiques émettent moins de 0,1% (0,009 Tg) des émissions totales. Notons que ces tendances sont les mêmes que celles observées avec les données de consommations. De manière générale, les pays les plus émetteurs en Afrique de l'Est sont l'Ethiopie avec 40%, la Tanzanie avec 26%, le Kenya avec 14% et l'Ouganda avec 12%. Ces émissions sont en majorité dues à la combustion du bois dont les émissions représentent 40% des émissions totales dans cette région. On retrouve également les déchets animaux en fortes proportions (23%) quant à leur utilisation domestique.

b) Afrique Centrale

Globalement, cette région d'Afrique présente le même comportement que l'Afrique de l'Est, avec sensiblement les mêmes proportions d'émissions par secteur d'activité (figure 3.5). Cette

région, la moins émettrice en carbone suie (7% du total en Afrique), a son maximum d'émissions dans le secteur domestique avec 84% (0,045 Tg) du total des émissions de la région. Le secteur industriel arrive en 2^{ème} position avec 10% (0,005 Tg) suivi des 6% (0,003 Tg) du trafic. Enfin, les centrales thermiques émettent moins de 0,1% des émissions de carbone suie. Cette tendance est la même que celle relevée sur les données de consommations. Par contre, les proportions sont différentes, notamment dans le secteur domestique (84% pour les émissions vs. 64% pour les consommations) à cause de facteurs d'émissions relativement importants. Les pays les plus émetteurs en carbone suie sont les grands consommateurs. Il s'agit de la république Démocratique du Congo (ex-Zaïre), dont les émissions avoisinent les 60% des émissions totales de la région. Il est suivi par le Cameroun avec 26%, tandis que les autres pays ont des proportions qui ne dépassent pas 5% du total. Du point de vue des sources les plus polluantes en carbone suie, ce sont les mêmes qu'avec les données de consommations. il s'agit du bois (36%), des déchets animaux (33%) et des processus de fabrication du charbon de bois (20%) qui représentent 89% des émissions de carbone suie en Afrique Centrale.

c) Afrique du Nord

L'Afrique du Nord est une région où les émissions sont en majorité dues au secteur du trafic (0,08 Tg soit 59%) (figure 3.5). Le secteur domestique représente le quart des émissions (0,03 Tg soit 25%), tandis que les industries émettent près de 0,02 Tg (15%) du total. Les émissions dues aux centrales thermiques restent faibles, autour de 1% (0,001 Tg). Cette répartition est totalement différente de celle mentionnée pour les données de consommations. Pour rappel, le trafic qui était en troisième position au niveau des consommations, se retrouve être le premier secteur d'activité pour les émissions. En fait, les positions des secteurs trafic et industries ont été permutées. Ce changement de position vient du fait que la moitié des pays de cette région sont des pays semi-développés et donc, utilisent des technologies plus « propres » en émissions d'aérosols carbonés dans le secteur industriel. Notons que la spécificité de cette région est l'utilisation du gaz naturel, avec des émissions particulière quasi-nulles (0,001% du total), du fait de très faibles facteurs d'émissions (facteurs d'émissions relativement faibles ou nuls). Les pays les plus émetteurs de carbone suie sont les pays en voie de développement : dans cette région, il s'agit de l'Egypte dont plus de la moitié des émissions lui sont imputées (56%) et du Soudan avec 22% des émissions de la région. Le combustible responsable de ces « fortes » émissions est le diesel dont les émissions représentent 53% des émissions de

carbone suie. C'est un combustible essentiellement utilisé dans le secteur trafic. Le second combustible est le bois qui représente près de 13% du total des émissions.

d) Afrique Australe

Les émissions de carbone suie de l'Afrique Australe représentent 20% des émissions totales en Afrique, dominées par le secteur domestique avec 56% (0,083 Tg). On relève des proportions quasi-identiques entre les secteurs des industries et du trafic (~16% soit 0,024 Tg). Les centrales thermiques ont une part non négligeable dans les émissions de carbone suie (11%, soit 0,016 Tg) contrairement aux régions précédentes (figure 3.5). Cette répartition est très intéressante car on remarque que les émissions des centrales thermiques sont les plus faibles des 4 secteurs d'activités, contrairement aux données de consommations, où ce secteur était dominant. Cette nouvelle répartition s'explique par le fait que l'Afrique du Sud, le plus grand consommateur de la région, est un pays semi-développé avec des facteurs d'émissions relativement faibles pour les centrales thermiques, alors que les facteurs d'émissions dans le secteur domestique sont les mêmes pour tous les niveaux de développement. L'Afrique du Sud est le pays le plus émetteur de carbone suie avec plus de la moitié du total des émissions de la région (51%). Il est suivi de loin par le Mozambique avec 12% et le Zimbabwe, 10%. Plusieurs combustibles sont responsables de telles émissions. Il s'agit du charbon avec 27% du total, une spécificité de l'Afrique du Sud, des déchets animaux avec 21%, du bois de feu avec 18%, du diesel avec 14% et indirectement du « charcoal making » avec 10%.

e) Afrique de l'Ouest

L'Afrique de l'Ouest est entièrement composée de pays en voie de développement et, donc les facteurs d'émissions y sont maxima. De plus, on a vu que c'est la région la plus émettrice de carbone suie en Afrique, avec près de 28% des émissions totales dont 72% (0,14 Tg) sont dues au secteur domestique, 20% (0,037 Tg) au trafic, 8% (0,016 Tg) aux industries et environ 0,1% aux centrales thermiques (figure 3.5). L'importance des secteurs trafic et industries sont inversées par rapport aux données de consommations. Notons que cette nouvelle répartition est due aux choix des facteurs d'émissions du trafic, très importants par rapport à ceux des industries. Par ailleurs, du point de vue des pays d'Afrique de l'Ouest, le Nigeria est le premier pays producteur et exportateur de pétrole en Afrique émettant près de 65% du total des émissions de carbone suie dans cette région. La Côte d'Ivoire est le 2^{ème} pays émetteur loin derrière le Nigeria, avec à peine 6% du total. Quatre combustibles sont responsables de telles émissions pour plus de 75% du total. Par ordre décroissant d'émissions,

on a les déchets animaux avec 39%, le bois avec 23% et le diesel avec 16%. Les émissions dues à la fabrication du charbon de bois représentent 13% du total des émissions de la région.

f) Conclusion partielle

De manière générale, on constate que le pays le plus émetteur de carbone suie en Afrique est le Nigéria avec 0,13 Tg avec pour émissions majoritaires, les émissions du secteur domestique, plus précisément celles des combustions des déchets animaux et du secteur du trafic avec le diesel. Il est suivi par l'Afrique du Sud avec 0,08 Tg d'émissions de carbone suie dont la majorité est due aux combustions de charbon noir des secteurs domestiques et des centrales thermiques et, enfin l'Egypte avec 0,07 Tg dont le principal combustible est le diesel pour le trafic. Par ailleurs, cette étude a permis de mettre en évidence d'une part, les spécificités régionales (e.g. le charbon noir en Afrique du Sud et le diesel en Egypte). D'autre part, notons aussi que le fait de réduire les consommations de combustibles les plus utilisés tels que le gaz naturel mais dotés de facteurs d'émissions négligeables ne réduit pas les émissions de carbone suie. L'accent doit plutôt être mis sur l'acquisition de technologies plus récentes et modernes, afin d'abaisser les valeurs des facteurs d'émissions et de ce fait, les émissions elles-mêmes.

3.2.3.4.2. Emissions de Carbone Organique Primaire (OCp)

A l'échelle de l'Afrique, les émissions de carbone organique primaire dues aux combustibles fossiles et aux biofuels en 2005 sont évaluées à 4,02 Tg. Ces émissions sont essentiellement dues aux biofuels pour 93% (3,72 Tg) du total contre 7% (0,3 Tg) pour les combustibles fossiles. Les émissions de carbone organique primaire en Afrique en 2005 sont cinq fois plus importantes que celles du carbone suie (4,02 Tg contre 0,69 Tg). Cette grande différence entre émissions de carbone organique primaire et carbone suie s'explique par le fait que les combustions à basse température sont pour la plupart incomplètes, avec de faibles rapports BC/OCp (Junker and Liousse, 2008 ; Bond et al., 2004).

La contribution entre biofuels et combustibles fossiles est la même que pour le carbone suie, avec des proportions plus marquées pour le carbone organique (93% pour les biofuels et le carbone organique contre 68% pour le carbone suie). L'analyse par secteur montre un positionnement inversé entre les secteurs du trafic et des industries au regard de l'analyse faite pour le carbone suie. En effet, c'est le secteur domestique qui est le plus grand émetteur de carbone organique primaire avec 3,12 Tg (78%). Il est suivi par le secteur industries avec 0,64

Tg (16%), le secteur trafic avec 0,20 Tg (5%) et les centrales thermiques avec 0,07 Tg (1%). L'analyse régionale est opérée en considérant les cinq régions définies précédemment. Ainsi, la région la plus émettrice de carbone organique primaire est la même que celle pour le carbone suie : l'Afrique de l'Ouest avec 1,44 Tg représente 36% du total des émissions. Elle est suivie par l'Afrique de l'Est avec 1,06 Tg (26%), l'Afrique Australe avec 0,08 Tg (19%), l'Afrique Centrale avec 0,039 Tg (10%) et l'Afrique du Nord avec 0,037 Tg (9%). Par comparaison au positionnement obtenu pour le carbone suie, on remarque que les positions de l'Afrique de l'Est et de l'Afrique Australe sont inversées, de même que celles de l'Afrique Centrale et de l'Afrique du Nord. Ce classement pourrait en partie s'expliquer par des facteurs d'émissions moins importants dans les régions (e.g. Afrique Australe et Afrique du Nord) où il y a des pays semi-développés peuplés. Cependant, même si les facteurs d'émissions sont plus faibles dans les pays semi-développés, ils semblent être compensés par de fortes consommations, d'où la troisième position de l'Afrique Australe. Pour la suite, nous nous focaliserons sur chaque région à travers une étude sectorielle. La figure 3.6 présente les émissions annuelles de carbone organique primaire par zones géographiques et par secteurs d'activités en Afrique pour 2005.

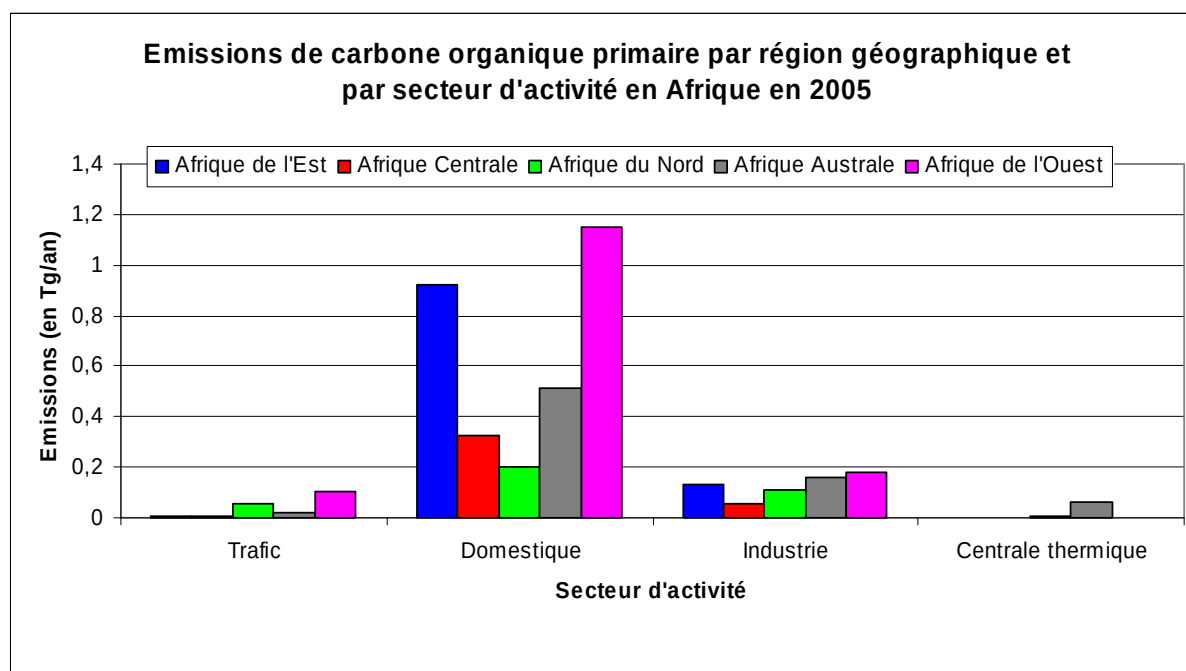


Fig. 3.6 : Emissions de carbone organique primaire par région géographique et par secteur d'activité en Afrique en 2005.

Il ressort de la figure 3.6 l'existence de grandes différences entre les émissions dues aux différentes régions d'Afrique dans chaque secteur d'activité. Ainsi, dans le secteur trafic, c'est l'Afrique de l'Ouest qui est la plus émettrice en carbone organique primaire avec une proportion qui dépasse la moitié de celle de toute l'Afrique dans ce secteur (0,11 Tg soit 54%). Viennent ensuite l'Afrique du Nord avec 0,06 Tg (28%), l'Afrique Australe avec 0,02 Tg (11%), l'Afrique de l'Est avec 0,01 Tg (5%) et l'Afrique Centrale avec 0,004 Tg (2%). Notons que l'importance relative de l'Afrique de l'Ouest apparaît pour les émissions de carbone organique alors que c'était l'Afrique du Nord qui était en 1^{ère} position pour les émissions de carbone suie. Cela est dû à la prise en compte des véhicules à deux roues qui ont de très forts facteurs d'émissions en carbone organique. L'importance relative des autres régions est la même pour le carbone suie et le carbone organique : notons que la différence entre l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique de l'Est est plus marquée pour le carbone organique primaire. Dans le secteur domestique, la classification est la suivante : l'Afrique de l'Ouest avec 1,15 Tg (37%), suivie par l'Afrique de l'Est avec 0,93 Tg (30%) et l'Afrique Australe avec 0,51 Tg (17%). L'Afrique Centrale et l'Afrique du Nord atteignent respectivement 0,33 Tg (11%) et 0,20 Tg (6%). Dans le secteur industriel, c'est encore l'Afrique de l'Ouest qui est la zone la plus émettrice avec 0,18 Tg (28%). L'Afrique Australe est en deuxième position avec 0,16 Tg (25%). Elle est suivie par l'Afrique de l'Est avec 0,13 Tg (20%), l'Afrique du Nord avec 0,11 Tg (18%) et l'Afrique Centrale avec 0,06 Tg (9%). Cette classification est différente de celle obtenue pour le carbone suie, excepté pour l'Afrique Centrale qui demeure la zone la moins émettrice d'Afrique dans le secteur des industries. Au niveau des centrales thermiques, ce sont les régions « semi-développées » qui se distinguent par leurs émissions. Nous retrouvons l'Afrique Australe avec 92% (0,06 Tg) des émissions en carbone organique primaire dans ce secteur et l'Afrique du Nord avec à peine 7% (0,005 Tg). Les autres régions considérées individuellement représentent moins de 0,5% des émissions dans ce secteur d'activité. Cet ordre de grandeur et ce classement sont les mêmes pour le carbone suie. Une fois de plus, en utilisant des technologies plus récentes qui font d'elles des zones économiquement très dynamiques avec pour résultante de plus fortes valeurs des PIB, les régions d'Afrique Australe et d'Afrique du Nord émettent de plus fortes quantités de carbone organique que les autres régions dans ce secteur (centrale thermique). Les régions constituées en majorité de pays en voie de développement comme l'Afrique de l'Ouest se distinguent au niveau des émissions de carbone organique primaire dans les secteurs du trafic, du domestique et des industries. Ceci est le résultat de « fortes » consommations associées à de forts facteurs d'émissions.

a) Afrique de l'Est

En Afrique de l'Est, on note l'importance des émissions en carbone organique primaire dans le secteur domestique (figure 3.6). Ce secteur représente 87% (0,93 Tg) du total des émissions de la région, une proportion encore plus importante qu'avec le carbone suie. Le 2^{ème} secteur émetteur est l'industrie avec 12% (0,13 Tg), suivi par le trafic avec près de 1% (0,09 Tg). Les centrales thermiques émettent très peu, avec moins de 0,05% (0,0002 Tg) du total des émissions. Ce sont les mêmes pays et les mêmes combustibles qui émettent le plus de carbone organique primaire que de carbone suie. Les pays les plus émetteurs sont l'Ethiopie avec 40% du total, la Tanzanie avec 28% et le Kenya avec 17%. En outre, soulignons une fois de plus, l'importance des émissions par la combustion des déchets animaux (45% du total des émissions) à ajouter aux 19% dûs à l'utilisation du bois.

b) Afrique Centrale

C'est la quatrième région émettrice de carbone organique primaire en Afrique en 2005 avec 84% (0,33 Tg) de ses émissions dans le secteur domestique, 15% (0,06 Tg) dans le secteur des industries, 1% (0,004 Tg) dans le trafic et moins de 0,05% (0,0005 Tg) dans les centrales thermiques (figure 3.6). Cette répartition est la même que celle observée avec le carbone suie, à part une augmentation relative des proportions dans le secteur industriel et une diminution dans le trafic. Deux pays sont à l'origine de ces émissions pour 89% : il s'agit de la République Démocratique du Congo (ex-Zaïre) (64%) et du Cameroun (25%). En ce qui concerne les combustibles mis en cause, on peut souligner de fortes émissions dues aux déchets animaux (56%) et au bois (15%). Notons que de fortes émissions de carbone organique primaire sont générées lors de la fabrication du charbon de bois (26%).

c) Afrique du Nord

Il s'agit de la région la moins émettrice en carbone organique primaire en 2005, ce qu'il convient de souligner par rapport aux analyses effectuées pour le carbone suie. La figure 3.6 montre que les émissions de cette région se répartissent en 54% (0,20 Tg) dans le secteur domestique, 30% (0,11 Tg) dans le secteur des industries, 15% (0,056 Tg) dans le trafic et 1% (0,005 Tg) dans les centrales thermiques. Cette répartition des émissions de carbone organique primaire est différente de celle du carbone suie où l'on notait que le trafic était le secteur le plus émetteur (dû au diesel), suivi du domestique et des industries. Au niveau des pays, c'est le Soudan (54%) et l'Egypte (24%) qui émettent plus des ¾ des émissions dans

cette région. Comme en Afrique de l'Est et en Afrique Centrale, les déchets animaux sont prépondérants, leurs émissions représentant 38% du total des émissions suivies du bois avec 14%. Cela est en partie dû aux forts facteurs d'émissions des déchets animaux (12,5 g/kg dans « tous » les secteurs d'activités) comparativement aux autres « combustibles » (e.g. 2,7 g/kg dans le domestique). La fabrication du charbon demeure un élément non négligeable du total des émissions de carbone organique primaire avec une proportion de près de 26%.

d) Afrique Australe

Le secteur domestique constitue le 1^{er} secteur émetteur de carbone organique primaire en Afrique Australe avec une proportion de 68% (0,51 Tg) du total des émissions de cette région (figure 3.6). Il est suivi par les industries et les centrales thermiques dont les émissions sont évaluées respectivement à 21% (0,16 Tg) et 8% (0,06 Tg) des émissions totales dans la zone. Les émissions émanant du trafic représentent environ 3% (0,02 Tg) des émissions totales en Afrique Australe. Les émissions dues aux industries sont supérieures à celles du trafic, ce qui n'est pas le cas pour le carbone suie. Ceci est lié au fait que les facteurs d'émissions dans le secteur industriel sont supérieurs à ceux du trafic, contrairement au carbone suie. En nous intéressant aux pays de cette région, on remarque que l'Afrique du Sud émet 39% de toutes les émissions dans cette zone. Quatre pays suivent l'Afrique du Sud, mais avec seulement des proportions comprises entre 10% et 20%. Il s'agit du Mozambique avec 17%, du Zimbabwe et de la Zambie avec 12% et enfin de l'Angola avec 10%. Les autres pays, quant à eux, ont des émissions qui n'atteignent pas 2%, excepté Madagascar avec 4%. Toutes ces fortes émissions de carbone organique primaire sont en majorité dues à la combustion des déchets animaux (51%), du charbon de bois pour 14% et du bois pour 11%. La fabrication de charbon de bois représente à peu près 19% du total des émissions dans cette zone géographique.

e) Afrique de l'Ouest

La figure 3.6 illustre le fait que l'Afrique de l'Ouest est la région la plus émettrice en carbone organique primaire en Afrique en 2005. La majorité de ces émissions de carbone organique primaire provient du secteur domestique (80% soit 1,15 Tg), comme c'était déjà le cas pour le carbone suie. Les secteurs industries, trafic et centrales thermiques ont des proportions très faibles comparativement au secteur domestique, avec respectivement 13% (0,18 Tg), 7% (0,11 Tg) et moins de 0,05%. La position des secteurs industries et trafic est inversée lorsqu'on considère les émissions de carbone suie. Cela s'explique par le fait que les combustibles qui sont les plus utilisés, ont des facteurs d'émissions dans le trafic supérieurs à

ceux des industries avec le carbone suie, mais c'est le contraire avec le carbone organique. On retrouve le Nigéria comme le pays le plus émetteur en carbone organique primaire avec des émissions avoisinant 72% des émissions totales de la région. La seconde place revient au Ghana avec des émissions de l'ordre de 8% des émissions totales en carbone organique. Contrairement au carbone suie, la Côte d'Ivoire se retrouve en 3^{ème} position (au lieu de 2^{ème}) avec 6% des émissions. Par ailleurs, les combustibles dont les émissions concourent à de tels résultats sont les déchets animaux avec 65% et le bois avec 9%. La fabrication du charbon de bois est non négligeable avec 16% des émissions. Il est important de souligner que les autres combustibles ont des proportions qui ne dépassent pas 2%, sauf pour le carburant des deux roues (TWG), une spécificité de l'Afrique de l'Ouest, avec des émissions de carbone organique de près de 6% des émissions totales dans la zone. Aussi, les deux roues apparaissent comme une spécificité en Afrique de l'Ouest dans la mesure où leurs émissions en carbone organique primaire s'élèvent à 77% du total des émissions dans le secteur du trafic contre 16% avec le carbone suie.

f) Conclusion partielle

Globalement, dans chacune des cinq régions considérées, ce sont les mêmes pays et les mêmes combustibles qui sont responsables des émissions de carbone organique primaire et de carbone suie. Cependant, le classement des pays les plus émetteurs vers les moins émetteurs que nous avons établi pour le carbone suie n'est pas le même que celui pour le carbone organique primaire. En effet, le Nigéria est toujours le pays le plus grand émetteur en Afrique avec 1,03 Tg. Cela est justifié en première analyse par le fait que le Nigéria a la plus importante population d'Afrique (148 millions d'habitants) (UN, 2007). Il est suivi par l'Ethiopie avec 0,43 Tg et la Tanzanie avec 0,3 Tg. En 4^{ème} et 5^{ème} position, on trouve l'Afrique du Sud et la République Démocratique du Congo (ex-Zaïre) avec respectivement environ 0,3 Tg et 0,25 Tg. Toutes les régions d'Afrique présentent des répartitions différentes par secteurs d'activités, non seulement au regard des consommations, mais aussi des émissions. Le secteur dominant est le secteur domestique (78%), suivi du secteur industriel (16%). Le trafic arrive en 3^{ème} position (5%) et en fin on trouve les centrales thermiques (1%). Cette classification est due aux fortes émissions des biofuels (bois et déchets animaux) du secteur domestique. Cependant, ce classement est différent en Afrique Australe où les positions des secteurs des industries et des centrales thermiques sont inversées à cause des très faibles facteurs d'émissions des centrales thermiques comparativement à ceux des industries. Cette analyse par régions et par secteurs permet de déterminer où agir pour contrôler les

émissions (carbone suie et carbone organique), en donnant des informations permettant aux décideurs d'avoir une meilleure visibilité des politiques à venir, selon leurs possibles impacts.

3.2.3.3. Test de sensibilité tenant compte d'une nouvelle spatialisation des émissions en Afrique du Sud sur la base d'un inventaire régional de SO₂.

Pour effectuer ce test, nous nous sommes basés sur les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) spatialisées en fonction des secteurs d'activités (industriel, domestique et trafic) pour l'année 2000 en Afrique du Sud, dans le cadre de l'expérience SAFARI. La méthodologie pour générer nos fichiers de spatialisation (équivalent à la densité de population normalisée) est la même dans ces trois secteurs d'activités. Nous avons d'abord normalisé les émissions de SO₂ par activité en divisant les émissions en chaque point de grille par le total des émissions du secteur d'activité considéré. Ainsi, les coefficients obtenus seraient équivalents aux densités de population des fichiers du CIESIN (2005). Nous avons ensuite effectué une interpolation, afin que les coordonnées de cette nouvelle spatialisation (0,18° x 0,18°) correspondent à celle du CIESIN (0,25° x 0,25°). Enfin, nous avons spatialisé les nouvelles émissions par secteurs d'activité. La figure 3.7 présente les émissions de carbone organique primaire du secteur industriel avec la spatialisation CIESIN (à gauche) et celle issue du fichier SO₂ (à droite).

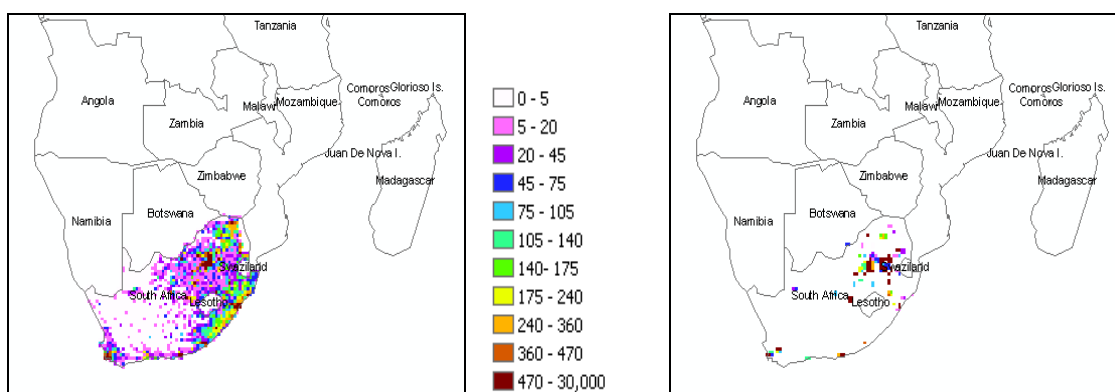


Fig. 3.7. : Emissions (en tonnes) de carbone organique primaire en Afrique du Sud en 2005 avec le nouvel inventaire (Liousse et al., 2011) : à gauche avec la spatialisation CIESIN (2005), à droite avec celle issue du fichier de SO₂.

Les points observés sur la figure 3.7 avec la densité de population du CIESIN (2005) sont plus nombreux car on utilise la densité de population comme clé de spatialisation. Par contre, avec le fichier SO₂, les points de grille représentés, peu nombreux semblent indiquer de manière plus précise l'emplacement des industries en Afrique du Sud. Ainsi, la figure 3.7 montre que

les émissions industrielles sont enfin bien localisées là où il y a des industries dans le fichier SO₂ par rapport au fichier CIESIN (2005). La principale conséquence est d'obtenir des valeurs très différentes aux points de grille selon le mode de spatialisation choisi. Par exemple, les valeurs maxima des émissions de carbone organique primaire en un point de grille sur la figure 3.7 sont de 295 tonnes avec l'ancienne spatialisation et de 27000 tonnes avec la nouvelle. Au chapitre 5, nous testerons ces nouvelles émissions spatialisées en Afrique du Sud avec le modèle global de climat TM5.

3.3. Comparaison de mon nouvel inventaire avec les inventaires de Junker and Liousse (2008) et de Bond et al. (2004)

Nous allons d'abord effectuer une comparaison entre les données de consommations et dans une seconde partie, nous nous focaliserons sur les émissions (carbone suie et carbone organique). Pour nos comparaisons, nous nous sommes basés sur deux inventaires globaux : l'inventaire de Bond et al. (2004) relatif à l'année 2000 avec des données de consommations issues de la base de données IEA et celui de Junker et Liousse (2008) actualisé pour l'année 2005, avec des données de consommations issues de la base de données ONU. Notons que par souci de simplicité, l'inventaire de Junker and Liousse (2008) signifiera dans ce texte l'inventaire de Junker and Liousse (2008) actualisé pour l'année 2005. Notons également que les données disponibles pour l'inventaire de Bond et al. (2004) sont des données détaillées de consommation et d'émissions selon le type de fuel (combustibles fossiles et biofuels) et selon le secteur d'activité (domestique, trafic et industrie), alors que l'inventaire de Junker and Liousse (2008) possède également des informations sur les consommations par pays et par combustible.

3.3.1. Consommations

La consommation totale en combustibles fossiles et en biofuels est de 1318 Tg dans le nouvel inventaire, contre 1232 Tg dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008) actualisé pour l'année 2005 et de 758 Tg dans l'inventaire de Bond et al. (2004) pour l'année 2000. Cela montre une augmentation relative de 7% par rapport à l'inventaire de Junker and Liousse (2008) et de 74% par rapport à celui de Bond et al. (2004). L'écart entre le nouvel inventaire et celui de Bond et al. (2004) n'est pas négligeable : une des raisons peut être liée à l'année

considérée pour l'inventaire de Bond et al. (2004) qui est de 2000 tandis que le nôtre est de 2005. L'analyse détaillée de ce total montre que la consommation de combustibles fossiles et de biofuels est plus importante dans notre inventaire que dans les deux autres. En effet, la consommation des biofuels est passée de 536 Tg dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) (respectivement 487 Tg dans Bond et al. (2004)) à 600 Tg dans le nouvel inventaire, soit une évolution relative de près de +12% par rapport à Junker and Lioussé (2008) (resp. +21% avec celui de Bond et al. (2004)). Le constat est plus marqué pour les combustibles fossiles. Leur consommation est passée de 696 Tg dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) (resp. 261 Tg dans Bond et al. (2004)) à 718 Tg dans le nouvel inventaire, soit une évolution relative de 3% par rapport à l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) (resp. 175% avec celui de Bond et al., 2004). Par la suite, nous nous sommes intéressés à l'évolution des consommations de combustibles fossiles et de biofuels par secteurs d'activités. Nous avons regroupé les industries et les centrales thermiques, car cette discrétisation n'était pas présente dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008). La figure 3.8 présente les consommations totales par secteurs d'activités, tenant compte des combustibles fossiles et des biofuels en Afrique pour 2005.

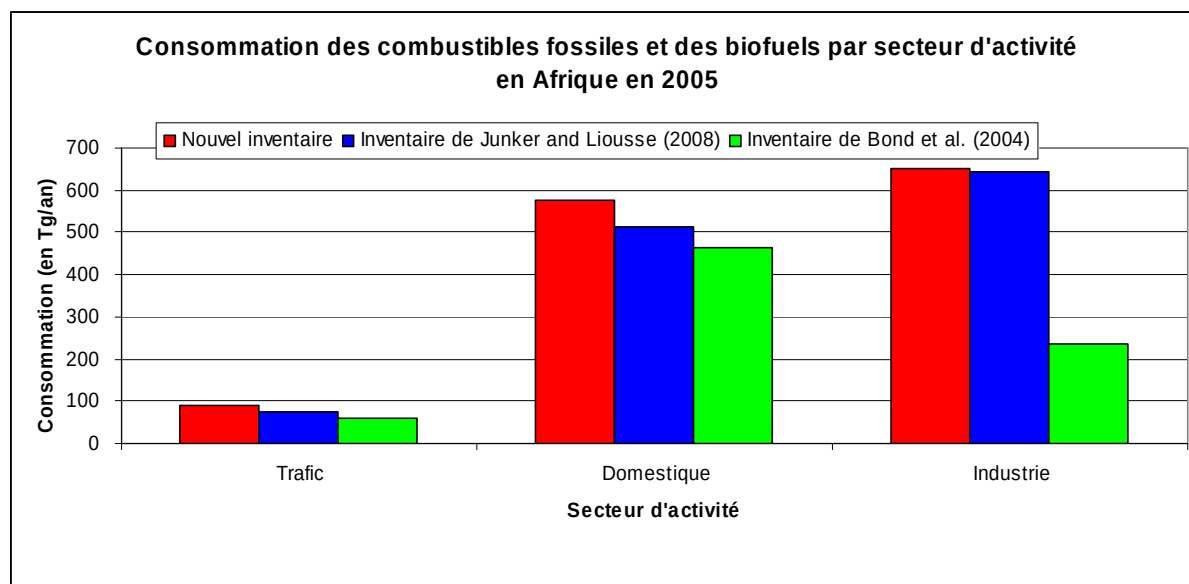


Fig. 3.8. : Consommations de combustibles fossiles et de biofuels en Afrique en 2005 : en rouge le nouvel inventaire (Lioussé et al., 2011), en bleu l'ancien inventaire (Junker and Lioussé, 2008) et en vert, l'inventaire de Bond et al. (2004).

Quel que soit le secteur d'activité, les données de consommations dans le nouvel inventaire sont supérieures à celles des inventaires de Junker and Lioussé (2008) et de Bond et al.

(2004). Ainsi, dans le secteur trafic, on note une augmentation relative de 18% par rapport à l'inventaire de Junker and Liousse (2008) contre 49% par rapport à celui de Bond et al. (2004). L'augmentation est moins importante dans le secteur domestique : +13% par rapport à l'inventaire de Junker and Liousse (2008) et + 25% pour celui de Bond et al. (2004). A contrario, les différences sont beaucoup plus marquées dans les industries avec l'inventaire de Bond et al. (2004). On obtient une augmentation relative de 178% par rapport à l'inventaire de Bond et al. (2004) contre à peine 1% pour celui de Junker and Liousse (2008). Cela montre que notre apport (mise à jour des données de consommations) dans l'élaboration du nouvel inventaire a généré une augmentation des données de consommation que ce soit par rapport à l'inventaire de Junker and Liousse (2008) ou celui de Bond et al. (2004).

Pour l'analyse plus détaillée par fuel et par pays, la comparaison ne se fera qu'avec l'inventaire de Junker and Liousse (2008) qui présente le même niveau de discrétisation des données. En Afrique, on note l'importance de 6 biofuels et de 28 combustibles fossiles, soit 34 combustibles parmi les 56 combustibles répertoriés dans la classification ONU. Sur les 6 biofuels, la moitié a subi des modifications. Il s'agit de hausses respectives de 37% et de 2296% des consommations en charbon de bois et en déchets végétaux respectivement et d'une baisse de 41% de la consommation de bois dans le nouvel inventaire. Cette valeur (2294% soit 17 kT à 407 kT) est due à la prise en compte des déchets animaux (domestique et industrie) au Niger et au Togo, sur la base des réponses au questionnaire, ce qui n'était pas le cas dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008). Par contre, la baisse de la consommation de bois dans le secteur domestique peut s'expliquer par la prise en compte du procédé de fabrication du charbon de bois (« charcoal making ») car nous avons considéré que 50% de la consommation de bois du secteur domestique est attribuée à ce processus de fabrication. Par ailleurs, au niveau des combustibles fossiles, 7 d'entre eux ont vu leurs consommations augmenter entre 5% pour le GPL et 408% pour le carburant pour avions (« aviation gasoline »). L'analyse par pays montre que l'on peut regrouper les pays selon trois tendances : les pays qui présentent une évolution positive de leur consommation, les pays sans aucune tendance et enfin ceux qui montrent une tendance négative. Le groupe des pays d'évolution négative est composé de 10 pays, avec des évolutions variant entre -39% en Guinée et -10% au Sénégal. Les pays à évolution positive sont au nombre de 25, et des variations oscillant entre +2% en Afrique du Sud et +159% en Guinée Bissau. Le Nigéria et la Côte d'Ivoire font partie de cette catégorie avec respectivement +12% et +15%. Globalement, les fortes différences entre notre nouvel inventaire (Liousse et al., 2011) et celui de Junker and Liousse (2008) portent majoritairement sur les pays qui ont répondu à nos questionnaires, mais aussi

sur ceux pris en compte dans l'étude de Brocard (1996). Cela montre l'importance des priorités dans les choix des données dans les différentes mises à jour qui ont été effectuées.

3.3.2. Emissions

3.3.2.1. Carbone suie

Les différences entre les émissions de carbone suie issues du nouvel inventaire sont plus ou moins marquées par rapport aux inventaires globaux existants. En effet, les émissions de carbone suie en 2005 s'élèvent à 0,69 Tg dans le nouvel inventaire (Lioussé et al., 2011), 0,68 Tg dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) et de 0,45 Tg dans l'inventaire de Bond et al. (2004) pour l'année 2000 en Afrique. La faible différence entre le nouvel inventaire et celui de Junker and Lioussé (2008) (~10 Gg/an) traduit une hausse de 1% contre 52% par rapport à l'inventaire de Bond et al. (2004). En séparant les biofuels des combustibles fossiles, on remarque que les émissions de biofuels sont passées de 0,46 Tg (resp. 0,31 Tg) dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) (resp. Bond et al., 2004) à 0,47 Tg dans le nouvel inventaire, soit une hausse relative de 1% (resp. 53%). Les résultats sur les combustibles fossiles montrent que leurs émissions de carbone suie sont passées de 0,224 Tg (resp. 0,146 Tg) dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) (resp. Bond et al., 2004) à 0,218 Tg dans le nouvel inventaire soit une baisse de l'ordre de 3% par rapport à l'inventaire de Junker and Lioussé (2008) et une hausse de 50% par rapport à celui de Bond et al. (2004). Cette analyse est différente de celle qui a été faite sur les données de consommations où les données du nouvel inventaire (Lioussé et al., 2011) étaient plus fortes que celles des deux autres inventaires, quel que soit le combustible considéré. Cette différence de classification pour le carbone suie s'explique principalement par la création du secteur des centrales thermiques et des plus faibles facteurs d'émissions dans ce secteur par rapport au secteur industrie. C'est ce que nous pouvons relever sur la figure 3.9 qui présente les émissions totales en carbone suie par secteurs d'activités, tenant compte des combustibles fossiles et des biofuels en Afrique en 2005. Les données de l'inventaire de Bond et al. (2004) qui portent sur l'année 2000 ont été ajoutées.

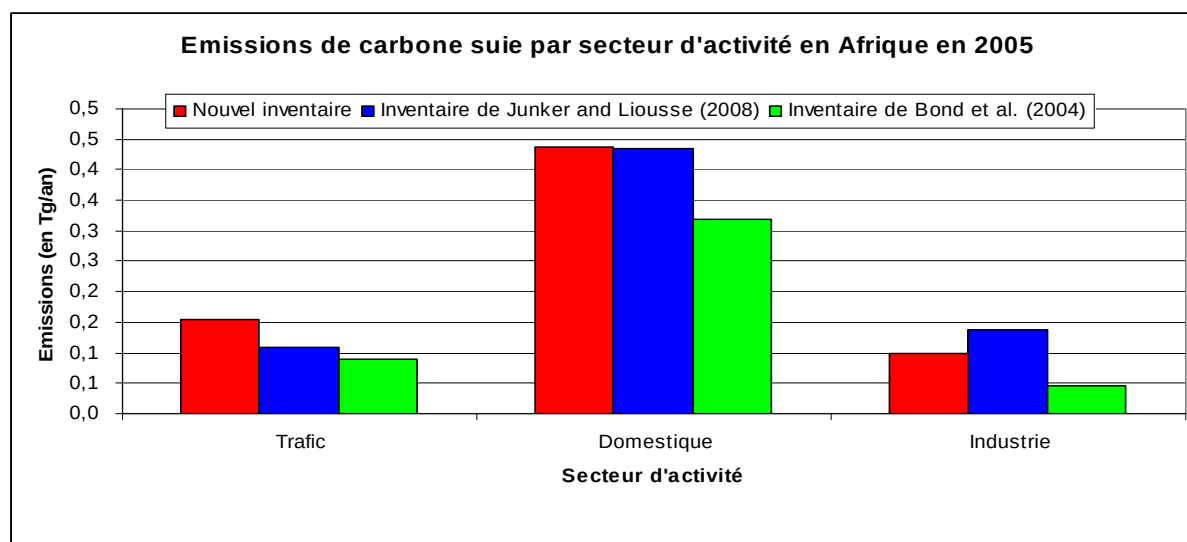


Fig. 3.9 : Emissions de carbone suie en Afrique en 2005 : en rouge le nouvel inventaire (Liousse et al., 2011), en bleu, l'ancien inventaire (Junker and Liousse, 2008) et en vert l'inventaire de Bond et al. (2004).

Sur la figure 3.9, il apparaît que les émissions de carbone suie dans le nouvel inventaire sont supérieures à celles de l'inventaire de Bond et al. (2004) et ce, quel que soit le secteur d'activité considéré. Dans la sectorisation du trafic, les émissions de carbone suie dans le nouvel inventaire sont supérieures à celles de Junker and Liousse (2008) (resp. Bond et al., 2004) de près de 41% (resp. 73%). Quant au domestique, la différence est peu marquée entre le nouvel inventaire et celui de Junker and Liousse (2008). Par contre, la différence est beaucoup plus marquée avec l'inventaire de Bond et al. (2004) (37%). Les émissions de carbone suie dans le secteur industriel ont diminué (resp. augmenté) de 27% (resp. 120%) dans le nouvel inventaire au regard de l'inventaire de Junker and Liousse (resp. Bond et al., 2004). Comme mentionné auparavant, les explications sur la baisse dans le secteur des industries vient des facteurs d'émissions dans le secteur des centrales thermiques. En effet, avec une différence de 1% entre les données de consommations des deux inventaires, on pourrait s'attendre à 1% de différence seulement au niveau des émissions. Ce n'est pas le cas, car la discrétisation entre industries et centrales thermiques (40% de la consommation totale du nouvel groupe « industrie ») a entraîné la prise en compte de nouveaux facteurs d'émissions plus faibles dans les centrales thermiques que dans le secteur industriel. Ainsi, le choix de ces nouveaux facteurs d'émissions appliquées à 40% de la consommation due aux centrales thermiques (contre 60% pour les industries) a réduit les émissions de carbone suie dans ce secteur d'activité. L'analyse fuel par fuel menée en comparant mon inventaire

(Liousse et al., 2011) à celui de Junker and Liousse (2008) montre que seules les combustions de déchets animaux, de charbon de bois et de déchets végétaux présentent des émissions de carbone suie en augmentation, respectivement de 19%, 37% et 2857%. Par contre, les émissions dues aux combustions de bois ont baissé de près de 40% dans le nouvel inventaire, tout comme pour les données de consommations, puisqu'on a prélevé la moitié du bois du secteur domestique pour fabriquer le charbon de bois. Notons que globalement, tenant compte à la fois des émissions dues au bois et à la fabrication de charbon de bois dans notre nouvel inventaire, une baisse est observée, de l'ordre de 6%. Par contre, au niveau des combustibles fossiles, 8 d'entre eux ont vu leurs émissions en carbone suie modifiées dans le nouvel inventaire. Aussi, la baisse des émissions de carbone suie porte sur 5 combustibles fossiles (de -16% pour le fuel lourd à -56% pour le charbon noir) et la hausse sur 3 combustibles (de +7% pour l'essence à +34% pour le diesel). Concernant les pays d'Afrique, les émissions de carbone suie n'ont pas varié dans 8 pays sur les 56 que compte l'Afrique. On enregistre des réductions d'émissions de carbone suie allant de -51% en Guinée à -4% au Burkina Faso et ce, dans 24 pays. Les 24 autres pays ont vu leurs émissions croître dans des proportions diverses. Ainsi, les émissions de carbone suie ont augmenté +3% au Kenya et jusqu'à +142% en Guinée Bissau. Les 3 pays (i.e. Afrique du Sud, Côte d'Ivoire et Nigéria) dont nous évoquons l'évolution des consommations, connaissent cette fois-ci des évolutions contrastées. En effet, pour l'Afrique du Sud, alors que sa consommation a augmenté de +2%, ses émissions de carbone suie ont baissé de 36% dans mon inventaire par rapport à celui de Junker and Liousse (2008). Cette baisse des émissions de carbone suie dans mon nouvel inventaire est due à la prise en compte des centrales thermiques qui ont des facteurs d'émissions plus faibles que ceux utilisés dans les industries. A contrario, la Côte d'Ivoire et le Nigéria ont des émissions de carbone suie qui ont augmenté de +18% et +23% respectivement. Notons que les données de Bond et al. (2004) restent inférieures à celles de Junker and Liousse (2008) et à mon inventaire (Liousse et al., 2011).

3.3.2.2. Carbone organique primaire

A l'échelle de l'Afrique, en 2005, les émissions de carbone organique primaire ont été évaluées à 4,02 Tg dans le nouvel inventaire (Liousse et al., 2011), 1,12 Tg dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008) et 1,31 Tg dans l'inventaire de Bond et al. (2004) pour l'année 2000. Les estimations entre les deux inventaires globaux sont du même ordre de grandeur. Notons qu'il peut y avoir des compensations dans les chiffres se traduisant par des

consommations plus importantes dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008) et des facteurs d'émissions plus grands utilisés dans l'inventaire de Bond et al. (2004). Ainsi, les plus fortes valeurs d'émissions dans l'inventaire de Bond et al. (2004) par rapport à celui de Junker and Liousse (2008) s'expliquent par des facteurs d'émissions nettement plus importants dans l'inventaire de Bond et al. (2004) malgré le fait que les consommations dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008) en 2005 soient près de 1,6 fois supérieures à celles de l'inventaire de Bond et al (2004) de 2000. Au regard de ces chiffres, il faut à présent souligner que les différences entre les totaux d'émissions des inventaires existants et le nouvel inventaire (Liousse et al., 2011) sont beaucoup plus marquées pour le carbone organique primaire que pour le carbone suie. Les différences relatives en carbone organique primaire sont de +258% par rapport à l'inventaire de Junker and Liousse (2008) contre +208% pour l'inventaire de Bond et al. (2004). En effectuant un zoom sur les combustibles, on se rend compte que l'impact est plus important pour les biofuels que pour les combustibles fossiles. En effet, les émissions de carbone organique primaire dues aux biofuels sont passées de 0,92 Tg (resp. 1,12 Tg) dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008) (resp. Bond et al., 2004) à 3,68 Tg dans le nouvel inventaire, soit une hausse relative de 302% (resp. 227%). Les résultats montrent également que les émissions de carbone organique des combustibles fossiles sont passées de 0,21 Tg dans l'inventaire de Junker and Liousse (2008) (resp. 0,18 Tg dans Bond et al. (2004)) à 0,33 Tg dans le nouvel inventaire (Liousse et al., 2011), soit une hausse de l'ordre de +62% par rapport à l'inventaire de Junker and Liousse (2008) (resp. +85% par rapport à Bond et al. (2004)). L'analyse sectorielle des émissions de carbone organique primaire en 2005 en Afrique est présentée sur la figure 3.10. Les données de l'inventaire de Bond et al. (2004) relatives à l'année 2000 sont reportées également sur cette figure.

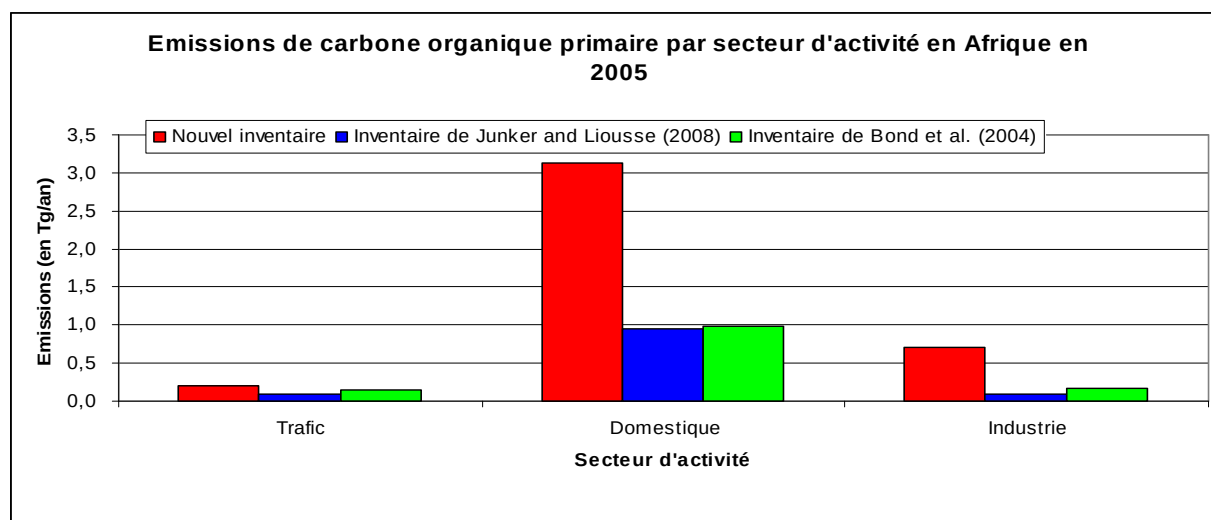


Fig. 3.10 : Emissions de carbone organique primaire en Afrique en 2005 : en rouge le nouvel inventaire (Liousse et al., 2011), en bleu l'ancien inventaire (Junker and Liousse, 2008) et en vert l'inventaire de Bond et al. (2004).

En l'Afrique, quel que soit le secteur d'activité considéré, les émissions de carbone organique primaire du nouvel inventaire 2005 sont supérieures à celles de Bond et al. (2004) en 2000, elles mêmes supérieures à celles de Junker and Liousse (2008) de 2005. Ce constat est différent de celui établi pour le carbone suie, dans la mesure où les émissions de carbone suie de Junker and Liousse (2008) étaient supérieures à celles de Bond et al. (2004), quel que soit le secteur d'activité. Ces résultats mettent une fois de plus en évidence l'impact des deux méthodologies de construction des inventaires existants (cf. chapitre 1) d'une part, et d'autre part les grandes différences observées sur les facteurs d'émissions utilisés dans chaque inventaire qui modifie le rapport BC/OC. Dans le secteur trafic, les émissions de carbone organique primaire du nouvel inventaire sont supérieures à celles de Junker and Liousse (2008) (resp. Bond et al., 2004) de près de 127% (resp. 27%). Dans le secteur domestique, la différence est marquée entre mon inventaire et celui de Junker and Liousse (2008) (+232%), de même qu'avec celui de Bond et al. (2004) (+ 219%). Les émissions de carbone organique primaire du secteur industriel ont fortement augmenté, soit +633% (resp. +306%) dans le nouvel inventaire au regard de l'inventaire de Junker and Liousse (resp. Bond et al., 2004). Sur les 4 biofuels qui ont subi des modifications dans leurs émissions de carbone suie (+19% pour les déchets animaux, +37% pour le charbon de bois, +2857% pour les déchets animaux et -40% pour le bois), on note que seuls 2 biofuels ont des émissions de carbone organique primaire modifiées : le charbon de bois (+37%) et le bois (-40%), avec les mêmes proportions que pour le carbone suie. Par ailleurs, trois combustibles fossiles voient leurs émissions

baissier et cinq autres augmenter. Les baisses relatives sont comprises entre -8% pour le charbon noir et -30% pour le « coke oven coke », tandis que les hausses s'échelonnent entre +7% pour l'essence et 408% pour le carburant pour avions légers. Il faut remarquer que ce sont les mêmes combustibles qui ont été modifiés pour le carbone suie. Concernant les émissions de carbone organique primaire dans chaque pays, on constate que 5 pays (Guinée, Sahara Occidental, Mauritanie, Sierra Leone et Guinée Equatoriale) ont vu leurs émissions de carbone organique primaire baisser, entre -19% pour la Guinée et -3% pour la Guinée Equatoriale. 48 autres pays ont des émissions qui ont augmenté et ce, entre +8% au Tchad et +1173% au Gabon. Il faut signaler que 28 de ces 48 pays ont des augmentations en carbone organique qui ont plus que doublé ($> 100\%$). En outre, les fortes proportions en Afrique du Sud (+118%), en Côte d'Ivoire (+394%) et au Nigeria (+770%) sont le fait principalement de la prise en compte des 2 roues en Afrique de l'Ouest (i.e. Côte d'Ivoire et Nigéria), ainsi que les réponses à nos questionnaires pour ces deux pays.

3.4. Comparaison entre les émissions de combustibles fossiles et de biofuels et celles des feux de biomasse, de carbone suie et de carbone organique primaire

Comme nous l'avons rappelé en introduction, une des sources majeures d'émissions en Afrique de l'Ouest sont les feux de savane. Il convient à présent de savoir l'importance relative des émissions anthropiques relativement à celles des feux. Aussi, nous supposons qu'à priori, nos données d'émissions (trafic, domestique, industrie et centrale thermique) n'ont aucune saisonnalité, contrairement aux feux de biomasse (Guillaume et al., 2007). Ainsi, les données mensuelles d'émissions de carbone suie et de carbone organique primaire dans mon nouvel inventaire (Liousse et al., 2011) ont été obtenues en divisant par 12 nos valeurs d'émissions.

3.4.1. Carbone suie

Sur la figure 3.11, nous présentons les données d'émissions de carbone suie (combustibles fossiles et biofuels) dans mon inventaire (Liousse et al., 2011), ainsi que les données d'émissions par les feux de biomasse pour toute l'Afrique en 2005, données extraites de la base de données du programme AMMA (Liousse et al., 2010).

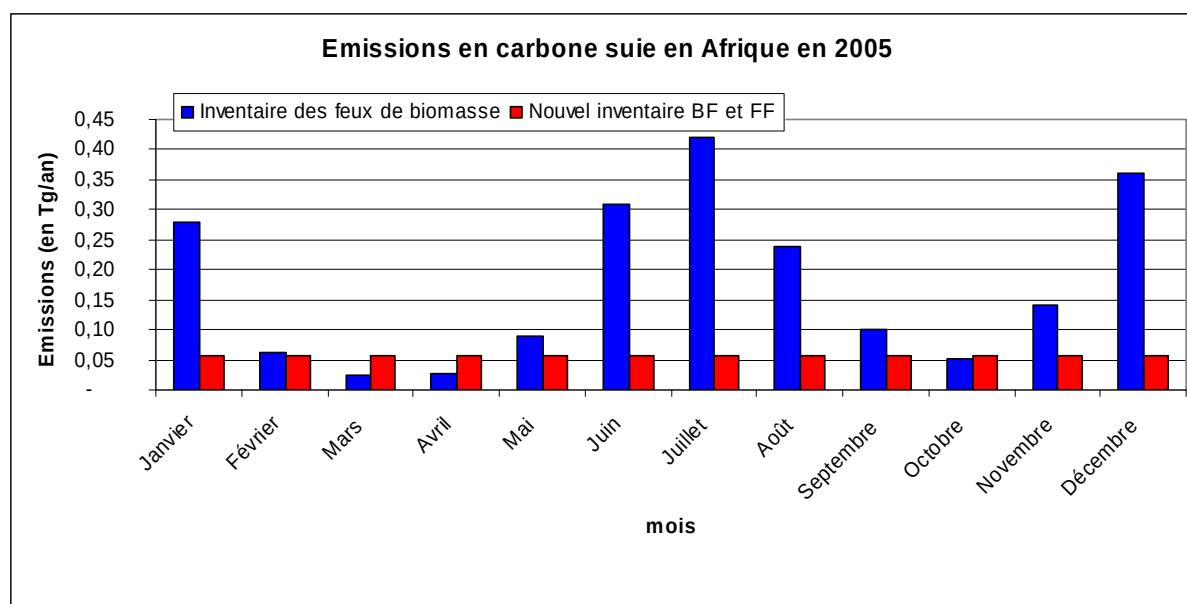


Fig. 3.11. : Comparaison entre émissions de carbone suie provenant de plusieurs sources en 2005 : en bleu l'inventaire de feux de biomasse d'AMMA (Liousse et al., 2010) et en rouge le nouvel inventaire régional (Liousse et al., 2011).

Les émissions annuelles de carbone suie issues des feux de biomasse sont évaluées à 2,11 Tg, tandis que mon nouvel inventaire propose 0,69 Tg pour les émissions par les combustibles fossiles et les biofuels. On constate que pendant la période de faible intensité des feux de biomasse (de Février à Mai et de Septembre à Novembre), les émissions de carbone suie des différentes sources sont du même ordre de grandeur. Pour les autres mois de l'année 2005, correspondant à une activité importante des feux de biomasse, les émissions de carbone suie dues aux feux de biomasse sont 4 fois plus importantes que celles des sources de combustion des combustibles fossiles et des biofuels (Liousse et al., 2011).

3.4.2. Carbone organique primaire

La figure 3.12 présente les émissions de carbone organique primaire en 2005, tenant compte de deux inventaires : mon nouvel inventaire (Liousse et al., 2011) et l'inventaire des feux de biomasse extrait du programme AMMA (Liousse et al., 2010).

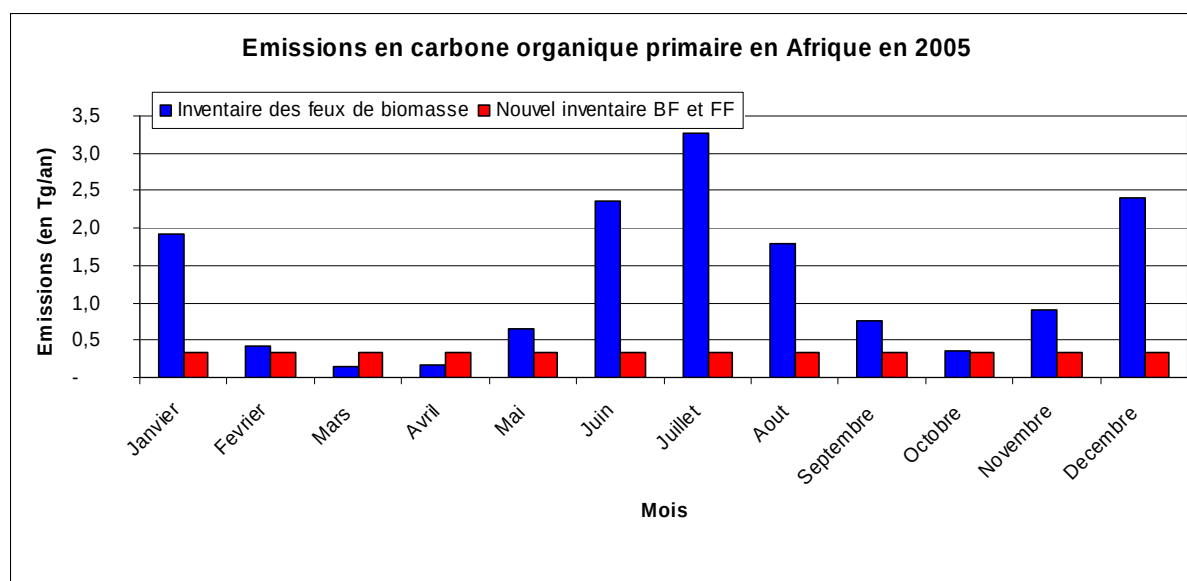


Fig. 3.12 : Comparaison entre émissions de carbone organique primaire provenant de plusieurs sources en 2005 : en bleu l'inventaire de feux de biomasse d'AMMA (Lioussé et al., 2010) et en rouge le nouvel inventaire régional (Lioussé et al., 2011).

A l'échelle du continent Africain, on constate que les émissions de carbone organique primaire sont de 4,02 Tg dans mon nouvel inventaire et de 15,15 Tg avec les feux de biomasse d'AMMA (pour rappel, les émissions de carbone organique étaient de 1,12 Tg dans l'inventaire de Junker and Lioussé (2008)). La comparaison entre les émissions de carbone organique primaire de mon inventaire et celui des feux de biomasse (cf. figure 3.12) montre les mêmes résultats pour le carbone organique que pour le carbone suie : mêmes ordre de grandeur entre les émissions des deux sources pendant la faible activité des feux de biomasse (de Février à Mai et de Septembre à Novembre) et de plus fortes différences pendant la saison des feux de biomasse.

3.4.3. Conclusion partielle

Avec mon nouvel inventaire régional, on observe que les émissions des combustibles fossiles et des biofuels sont à présent du même ordre de grandeur que les émissions par les feux de biomasse pendant la période de faible activité des feux de biomasse (de Février à Mai et de Septembre à Novembre), ce qui n'était pas le cas avec les données de Junker and Lioussé (2008). Des différences plus marquées sont observées en Janvier, de Juin à Août et en

Décembre, avec des émissions de carbone suie (resp. carbone organique) par les feux de biomasse 4 fois (resp. 6 fois) plus importantes que celles de mon nouvel inventaire.

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un nouvel inventaire d'émissions de carbone suie et de carbone organique primaire à l'échelle de l'Afrique pour l'année 2005. Ce travail a permis de poursuivre les efforts dans l'harmonisation à une échelle régionale des inventaires d'émissions de carbone suie et de carbone organique primaire provenant des combustibles fossiles et des biofuels. La stratégie a été d'abord de procéder à une mise à jour des algorithmes de calculs des distributions spatiales de ces émissions. Pour cela, nous nous sommes servis des données de densité de la population du CIESIN (2005) qui ont permis une spatialisation de nos données à une résolution de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ contre $1^\circ \times 1^\circ$ précédemment. Par la suite, nous avons développé un nouvel inventaire africain tenant compte des spécificités régionales (engins à deux roues et fabrication du charbon de bois). Nous avons utilisé des données provenant de diverses sources (ONU, IEA, questionnaires, anciens travaux sur les inventaires réactualisés) qui ont servi à l'élaboration d'un inventaire cohérent d'émissions des aérosols carbonés en 2005 en Afrique. Ces travaux ont également permis de réviser les valeurs de facteurs d'émissions à partir de données récentes de la littérature (Junker and Liousse, 2008 ; Bond et al, 2004) et d'introduire un nouveau combustible comme carburant des véhicules à deux roues « TWG » (Assamoi and Liousse, 2010), ainsi que l'Erythrée comme « nouveau » pays à part entière. Par ailleurs, les centrales thermiques ont été ajoutées dans la sectorisation de ces émissions via les données de l'IEA. Il ressort de ce travail, que nos cinq régions géographiques d'Afrique présentent des comportements différents du point de vue des consommations, mais aussi des émissions. Cela est très marqué dans l'étude sectorielle, où l'Afrique de l'Ouest se distingue comme étant la région la plus émettrice de carbone suie et de carbone organique primaire. Ce résultat est cohérent avec le fait que l'Afrique de l'Ouest est la région la plus peuplée d'Afrique et ses 15 pays, sont tous des pays en voie de développement (facteurs d'émissions plus importants que ceux des pays développés et semi développés). En résumé, on constate que les pays semi-développés se distinguent surtout par leurs fortes émissions dans le secteur industriel et les centrales thermiques, tandis que les pays en voie de développement (44 pays sur 56) par de fortes émissions dans les secteurs domestique et trafic. Cela vient du fait de la différence des facteurs d'émissions, non seulement par secteurs d'activités mais aussi, par niveau de

développement des pays. Ce nouvel inventaire a été comparé à deux inventaires globaux : celui de Junker and Lioussé (2008) actualisé pour l'année 2005 et celui de Bond et al. (2004) typique de l'année 2000. Du point de vue des émissions de carbone suie et de carbone organique primaire, les valeurs relevées dans mon nouvel inventaire sont supérieures à celles des deux autres inventaires globaux. Notons que les émissions de carbone organique primaire dans l'inventaire de Bond et al. (2004) relatif à l'année 2000 sont supérieures à celles de Junker and Lioussé (2008) actualisé pour l'année 2005. Un autre type de comparaison a été fait entre mon nouvel inventaire de combustibles fossiles et de biofuels (Lioussé et al., 2011) et l'inventaire des feux de biomasse (Lioussé et al., 2010). Ce travail fait apparaître que mon inventaire présente les mêmes ordres de grandeur que celles des émissions par les feux de biomasse pendant les périodes intra-mousson africaines (entre Février et Mai et entre Septembre et Novembre) pour les émissions de carbone suie et de carbone organique primaire. Pendant la période de feux intenses (de Novembre à Janvier dans l'hémisphère Nord et de Juin à Août dans l'hémisphère Sud), les émissions de carbone suie et de carbone organique primaire par les feux de biomasse sont au moins 4 fois plus importantes que celles du nouvel inventaire (Lioussé et al., 2011). Finalement, ce travail de développement de mon inventaire a mis en avant des problèmes de régionalisation des inventaires, pour traduire au mieux les réalités de terrain. Aussi, on peut conclure en mettant en avant que le développement des inventaires d'émissions de combustibles fossiles et de biofuels atteste toute l'importance de la régionalisation des inventaires d'émissions pour une incorporation ultérieure dans des inventaires globaux. Cette régionalisation a également mis en exergue les leviers socio-économiques sur lesquels les décideurs pourraient agir du point de vue des combustibles et des secteurs d'activités afin que les politiques de projections de consommations et d'émissions puissent juguler une pollution galopante.