

# Le Paysage des Émissions de CO2 à Travers l'Afrique : Une Perspective Comparative

*Jaime de Melo*  
et  
*Jean-Marc Solleder*

*Documents de travail GVC-003*

*Apporter de la rigueur et des éléments de preuve à  
l'élaboration des politiques économiques en Afrique*

AFRICAN ECONOMIC RESEARCH CONSORTIUM  
CONSORTIUM POUR LA RECHERCHE ÉCONOMIQUE EN AFRIQUE

# Le Paysage des Émissions de CO2 à Travers l'Afrique : Une Perspective Comparative

Par

Jaime de Melo  
*Université de Genève GSEM*  
&  
*FERDI*

et

Jean-Marc Solleder  
*Université de Genève GSEM*

**CETTE ÉTUDE DE RECHERCHE** a été rendue possible grâce à une subvention du Consortium pour la Recherche Economique en Afrique. Toutefois, les conclusions, opinions et recommandations sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les points de vue du Consortium, de ses membres individuels ou du Secrétariat du CREA.

Publié par : Le Consortium pour la Recherche Economique en Afrique  
B.P. 62882 - City Square  
Nairobi 00200, Kenya

© 2022, Consortium pour la Recherche Economique en Afrique.

# Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations et acronymes

Résumé

Remerciements

1.	Introduction	1
2.	Construction de l'ensemble des données	4
3.	Émissions de CO <sub>2</sub> e entre les régions : 1995-2015	7
4.	Intensité des émissions, directes et indirectes	14
5.	Émissions de CO <sub>2</sub> e au sein des chaînes d'approvisionnement	23
6.	Corrélatés de l'intensité des émissions et du positionnement dans les chaînes de valeur mondiales	29
7.	Conclusions	34
	Remarques	36
	Références	39
	Appendices	41
A :	Liste des pays dans le RMRIO et dans le comparateur synthétique	41
B :	Tableaux et figures supplémentaires	50

# Liste des tableaux

1.	Décomposition des émissions totales de CO2e par région	9
2.	Poids des pays dans le groupe comparateur de l'Afrique	15
3.	Émissions de CO2e et intensités par source	16
4.	Corrélation de classement de Spearman des intensités d'émissions entre les régions	19
5.	Secteurs les plus propres et les plus sales par région	20
6.	Intensité des émissions directes de CO2e des exportations, 2015	30
7.	Intensité des émissions de CO2e et position dans les chaînes de valeur mondiales : Afrique et le Reste du Monde (RdM)	32
8.	Impact de la position dans la chaîne de valeur mondiale sur l'intensité des émissions de CO2e : Afrique	33
A1.	Economies africaines dans le RMRIO	41
A2.	Economies américaines dans le RMRIO	43
A3.	Economies asiatiques dans le RMRIO	44
A4.	Economies européennes dans le RMRIO	46
A5.	Economies océaniques dans le RMRIO	47
A6.	Pays inclus dans le groupe comparateur	48
B1.	Secteurs les moins et les plus polluants dans les cinq plus grands pays émetteurs africains	51
B2.	Impact de la position de la CVM sur l'intensité des émissions de CO2e : Comparateur	53

## Liste des figures

1.	Émissions de CO <sub>2</sub> e - EDGAR vis-à-vis de RMRIO	6
2.	Intensité totale des émissions de CO <sub>2</sub> e (kg/€) et parts de population par région : 1995 et 2015	8
3.	Décomposition de la croissance des émissions par région	10
4.	Taux de croissance décennaux : Émissions de CO <sub>2</sub> e par rapport au PIB en Afrique	12
5.	Décomposition de la croissance des émissions par pays : 1995-2015	12
6.	Évolution de l'intensité des émissions de CO <sub>2</sub> e (directes et indirectes)	18
7.	Évolution de l'amont (OU/ID) au fil du temps	25
8.	Position des secteurs dans les chaînes d'approvisionnement régionales	26
9.	Evolution de l'amont	28
10.	Intensité des émissions de CO <sub>2</sub> e des exportations et de la production : Afrique et Asie	29
B1.	Décomposition de l'échelle et de la technique pour l'ensemble des pays africains	50
B2.	Aval par région vis-à-vis du comparateur	51

# Liste des abréviations et acronymes

BAD	Banque asiatique de développement
CH4	Méthane
CO2	Dioxyde de carbone
CO2e	Equivalent CO2
EDGAR	Base de données sur les émissions pour la recherche atmosphérique mondiale
FAOSTAT	Organisation pour l'alimentation et l'agriculture Base de données statistiques d'entreprise
PIB	Produit intérieur brut
GES	Gaz à effet de serre
GVCs	Chaînes de valeur mondiales
ID	Intrants en aval
AIE	Agence internationale de l'énergie
IO	Intrant-extrant
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
LULUCF	Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie
MRIO	Intrants-extrants multirégionaux
N2O	Oxyde nitreux
OU	Entrée en amont
RMRIO	Intrants-extrants multirégionaux résolus
TIVA	Commerce en valeur ajoutée
WIOD	Intrants-extrants mondiaux

# Résumé

L'expansion des chaînes de valeur mondiales (CVM) est une bénédiction mitigée pour l'environnement. Les effets de la croissance et les émissions du transport associées au commerce international ont des effets négatifs ; mais les flux plus importants de connaissances et les retombées associées, ainsi que l'adoption de produits innovants sur le plan environnemental ont des effets positifs. Cette étude fournit des données sur les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) pour 51 pays africains et 132 autres pays pour 163 produits sur la période 1995-2015. Le paysage qui en résulte est résumé en six modèles. Les modèles identifiés pour la région Afrique diffèrent de ceux identifiés pour d'autres régions, mais sont étroitement liés à un comparateur agrégé synthétique construit sur la base de trois caractéristiques (revenu par habitant, part de l'industrie manufacturière dans le PIB et distance par rapport aux partenaires commerciaux.)

- 1 : Toutes les régions ont réduit l'intensité de leurs émissions au cours de la période 1995-2015. La part de l'Afrique dans les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> est restée constante sur la période 1995-2015. L'Asie, qui était déjà la région ayant la plus grande part des émissions mondiales en 2000, a renforcé sa position de leader. L'Europe et les Amériques ont réduit leur part d'émissions de neuf et huit points de pourcentage, respectivement. L'Asie est en train de se décarboniser ; l'Afrique pas encore.
- 2 : L'intensité carbonique de la production a augmenté en Afrique au cours des deux décennies, mais beaucoup moins au cours de la période 2005-2015 où, en moyenne, les émissions ont augmenté moins rapidement que la population. Plus de la moitié des 20 pays africains dont les émissions ont le plus augmenté se sont tournés vers des techniques plus intensives en carbone.
3. Source des émissions totales régionales : Au cours de la période 1995-2015, les parts intra-régionales des émissions ont diminué de sept, dix et deux points de pourcentage pour atteindre 84 %, 75 % et 88 % pour l'Afrique, l'Europe et l'Asie, respectivement. La part de l'Afrique dans les émissions provenant d'Asie est passée de 4 % à 11 %. La part de l'Europe dans les émissions provenant d'Afrique et d'Asie est passée de 2 % et 8 % à 4 % et 16 %, respectivement.



- 4 : La corrélation de classement de Spearman des émissions entre les régions sur 163 secteurs est élevée, autour de 0,7. Près de la moitié des cinq secteurs les plus propres et des cinq secteurs les plus polluants sont les mêmes d'une région à l'autre, mais il existe des différences marquées dans les classements pour certains des secteurs les plus polluants. En général, les secteurs les plus polluants sont plus en amont.
- 5 : L'aval augmente au fil du temps. L'amont (OU) de la consommation finale et l'aval (ID) des facteurs primaires sont nécessaires conjointement pour indiquer la position d'un secteur dans une chaîne d'approvisionnement. Au niveau de l'agrégation de sept secteurs, l'exploitation minière est le secteur le plus en amont dans toutes les régions, suivi de l'agriculture ; l'électricité et les services publics, les services et les transports sont les grands secteurs en amont dans toutes les régions. Les industries manufacturières et la construction sont en aval pour toutes les régions.
- 6 : Le panier d'exportation de l'Afrique est orienté vers des produits à forte intensité de CO<sub>2</sub>. Les intensités d'émission de CO<sub>2</sub> sont positivement corrélées avec l'amont (OU) et l'aval (ID). L'indicateur OU/ID de la position dans une chaîne d'approvisionnement est négativement corrélé avec les intensités d'émissions de CO<sub>2</sub> au sein des régions. Une meilleure adéquation est obtenue au sein des secteurs de chaque région. Pour les produits manufacturés, le fait d'être plus en amont de 1% est associé à une intensité d'émissions plus élevée de 0,61%. Pour les autres secteurs, la relation est négative, et plus importante pour l'agriculture et la construction.

**Mots clés :** *CO<sub>2</sub> ; Afrique ; Potentiel d'exportation ; Biens environnementaux.*

**Codes de classification JEL :** *Q50 ; Q56 ; F18 ; F64.*

# Remerciements

Nous remercions les participants, en particulier Marcelo Olarreaga, pour ses commentaires détaillés lors du projet de recherche collaborative du Consortium pour la recherche économique en Afrique (CREA) sur les chaînes de valeur mondiales.

# 1. Introduction

La réduction des coûts de transport et de communication a stimulé la fragmentation de la production en activités entre les pays. Cela offre aux pays la possibilité d'entrer dans différentes étapes de la production le long des chaînes d'approvisionnement sans avoir à produire à grande échelle à toutes les étapes de la chaîne. Jusqu'à présent, l'Afrique est restée un participant marginal au commerce mondial des chaînes d'approvisionnement (ou chaînes de valeur mondiales - CVM).<sup>1</sup> En même temps, en l'absence de politiques environnementales performantes, la croissance est généralement néfaste pour l'environnement, ce qui constitue une préoccupation croissante, notamment dans les économies africaines à croissance rapide, où la croissance démographique est également la plus élevée au monde.

L'expansion des chaînes de valeur mondiales est une bénédiction mitigée pour l'environnement. Du côté négatif, les effets d'échelle du commerce et de la croissance augmentent l'empreinte environnementale de l'activité économique, produisant plus d'expéditions entre les pays et plus de déchets dans l'ensemble (par exemple, dans l'électronique via un taux d'innovation technologique plus élevé, ou plus de plastiques). La Banque asiatique de développement (ADB, 2021) estime qu'environ 2,1 gigatonnes d'émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) sont associées au commerce international. Si c'est le cas, l'allongement des chaînes d'approvisionnement est susceptible d'accroître le rôle du transport et d'élargir la portée des effets potentiels des paradis fiscaux, étant donné que les industries opérant dans des juridictions où les politiques environnementales sont strictes pourraient migrer vers des juridictions où les politiques environnementales sont laxistes (ce que l'on appelle "l'hypothèse du paradis fiscal").

D'un point de vue positif, la circulation des connaissances entre les entreprises des chaînes d'approvisionnement peut conduire à l'adoption de produits et de technologies innovants sur le plan environnemental (hypothèse du "halo de pollution" de Porter) (Porter & van der Linde, 1994). En outre, les entreprises leaders dans les chaînes de valeur mondiales ont des noms de marque à protéger dans les chaînes de valeur mondiales relationnelles, ce qui les incite à minimiser l'empreinte de leurs activités. Les entreprises leaders peuvent réduire les émissions (celles qu'elles contrôlent directement "portée 1" et indirectement "portée 2") des fournisseurs en amont dans d'autres juridictions. Généralement, les impacts environnementaux sont supportés en amont, là où se trouvent les pays africains, tandis que la création de valeur a lieu en aval.

Seules des évaluations détaillées au niveau des entreprises au sein des chaînes d'approvisionnement peuvent permettre de démêler ces effets. La mesure la plus répandue de l'ampleur des dommages environnementaux causés par l'activité économique est l'équivalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) des gaz à effet de serre (GES), généralement disponible au niveau sectoriel, la mesure des émissions utilisée dans la présente étude.<sup>2</sup> Les données fondées sur les émissions de CO<sub>2</sub>e se situent principalement au niveau macroéconomique pour les économies émergentes et à revenu élevé (par exemple, Ferrarini et de Vries (2015), Brenton et Chemutai (2021), Banque asiatique de développement (2021)). Lorsqu'elles sont disponibles, les données couvrant la majeure partie de l'Afrique sont fragmentées (par exemple, Ibrahim et Hook (2016), Steckel et al. (2020) sur le charbon, Liu et Zhao (2021), l'exception étant Ayompe et al. (2021) couvrant les émissions de CO<sub>2</sub> à travers 27 pays africains sur 1990-2017. À notre connaissance, aucune étude centrée sur les CVM ne couvre la quasi-entité de l'Afrique. Cet article comble cette lacune.

Pour restreindre le champ de cette enquête, nous ne prenons pas en compte les émissions de CO<sub>2</sub> supplémentaires causées par le transport de marchandises associé à l'allongement des CVM.<sup>3</sup> Nous nous concentrons sur les comparaisons entre les régions et certains des plus grands émetteurs en Afrique. Étant donné que les politiques de protection de l'environnement sont de plus en plus souvent formulées au niveau régional dans le cadre d'accords commerciaux régionaux " profonds " qui comprennent des dispositions relatives à la protection de l'environnement (Mattoo et al., 2020), il est instructif de rendre compte de l'évolution des émissions au niveau régional. Toutefois, en raison de la grande hétérogénéité au sein des régions, nous rendons également compte des émissions d'un comparateur synthétique construit (une somme pondérée de pays sélectionnés sur la base de trois PIB par habitant, parts de l'industrie manufacturière et distance des partenaires commerciaux similaires).

Nos estimations sont dérivées de la base de données " Intrants Extrants Multi-Régionales Résolues " (RMRIO) hautement désagrégées de Cabernard et Pfister (2021), bien adaptée à l'analyse de l'empreinte environnementale des activités de production et de commerce. La richesse de l'ensemble de données explique le grand nombre de tableaux et de figures, avec les caractéristiques et les modèles d'émissions de CO<sub>2</sub>e pour 49 pays africains pour 163 secteurs sur la période 1995-2015. Les principaux résultats sont résumés sous forme de "modèles" entre régions, pays ou secteurs, dans l'esprit des faits stylisés de l'enquête de Copeland et al. (2021) compilés pour 35 secteurs dans 43 pays à revenu élevé et émergents contenus dans la base de données Intrants extrants mondiales (WIOD).

Le reste de ce document est organisé comme suit. La section 2 présente la construction de l'ensemble de données, qui se traduit par un tableau intrant-extrant multirégional " résolu " (RMRIO) assemblant les flux de production et de commerce pour 183 pays et 163 secteurs pour la période 1995-2015. La section 3 retrace l'évolution des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>e entre les régions et décompose cette croissance en effets d'échelle, de composition et de technique entre les régions et entre les pays africains. La section 4 présente les résultats des décompositions des mesures

directes et indirectes des émissions de CO<sub>2</sub>e (en kg) et des intensités d'émission (en kg/€) par origine et destination à travers les régions. Cette décomposition révèle de forts changements dans l'origine et la destination par région au cours de la période de 20 ans. La section 5 retrace l'évolution de la production en amont (OU) (distance des consommations finales) et de l'intrant en aval (ID) (distance des facteurs primaires). Une mesure de la position d'un secteur le long d'une chaîne d'approvisionnement (OU/ID) montre une tendance générale à l'augmentation de l'aval (c'est-à-dire une plus grande circularité de la production entre les secteurs au fil du temps, reflétée par la baisse des ratios de la valeur ajoutée à la production brute entre les secteurs). La section 6 présente les corrélats de l'intensité des émissions de CO<sub>2</sub>e (par exemple, les parts d'exportation et la position dans la chaîne de valeur mondiale). La section a pour objectif de conclure l'étude.

## 2. Construction de l'ensemble des données

L'évaluation des effets environnementaux de la fragmentation des tâches entre les activités (de nombreux secteurs y contribuent) et de la délocalisation (de nombreux pays y contribuent) le long des chaînes d'approvisionnement nécessite des estimations des émissions. Cela nécessite un ensemble de données MRIO (Approche Intrants – Extrants Régionales) finement désagrégées car les secteurs à forte pollution sont mieux identifiés à un niveau désagrégé (Copeland et al., 2021). En outre, une large couverture nationale est souhaitable pour analyser l'activité des CVM en Afrique, où la petite taille de nombreux pays pourrait se traduire par une plus grande participation aux CVM. Les tableaux MRIO sont équilibrés en extrapolant ou en extrapolant les valeurs par des méthodes d'entropie croisée pour les pays qui n'ont pas de tableau IO, ce qui est le cas de tous les pays africains.

Parmi les ensembles de données MRIO, EORA (Lenzen et al., 2013) couvre 189 pays, dont 54 économies africaines, et une région "Reste du monde", pour 26 secteurs dans chaque pays.<sup>4</sup> Plus récemment, EXIOBASE 3 (Stadler et al., 2021) offre une plus grande couverture sectorielle (163 secteurs et 200 produits) mais pour moins de pays (44 pays et 5 régions du monde). EXIOBASE inclut peu d'économies africaines. D'une part, avec 26 secteurs, EORA n'est pas suffisamment désagrégée pour cette étude. D'autre part, avec 44 pays, EXIOBASE ne couvre pas suffisamment de pays africains pour une analyse significative. Heureusement, Cabernard et Pfister (2021) combinent ces deux ensembles de données (et d'autres) pour construire une base de données " Intrants-extrants multirégionaux résolus " (RMRIO). RMRIO couvre 189 pays, dont 54 économies africaines<sup>5</sup>, et 163 secteurs. Elle fournit des matrices de facteurs de stress environnementaux pour l'extraction de matériaux, la consommation d'eau bleue, les impacts du changement climatique, les impacts sanitaires des particules, le stress hydrique et la perte de biodiversité liée à l'utilisation des sols. Les données couvrent la période 1995-2015.<sup>6</sup> Cette base de données hautement désagrégée est bien adaptée à l'analyse de l'empreinte environnementale des activités de production et de commerce.

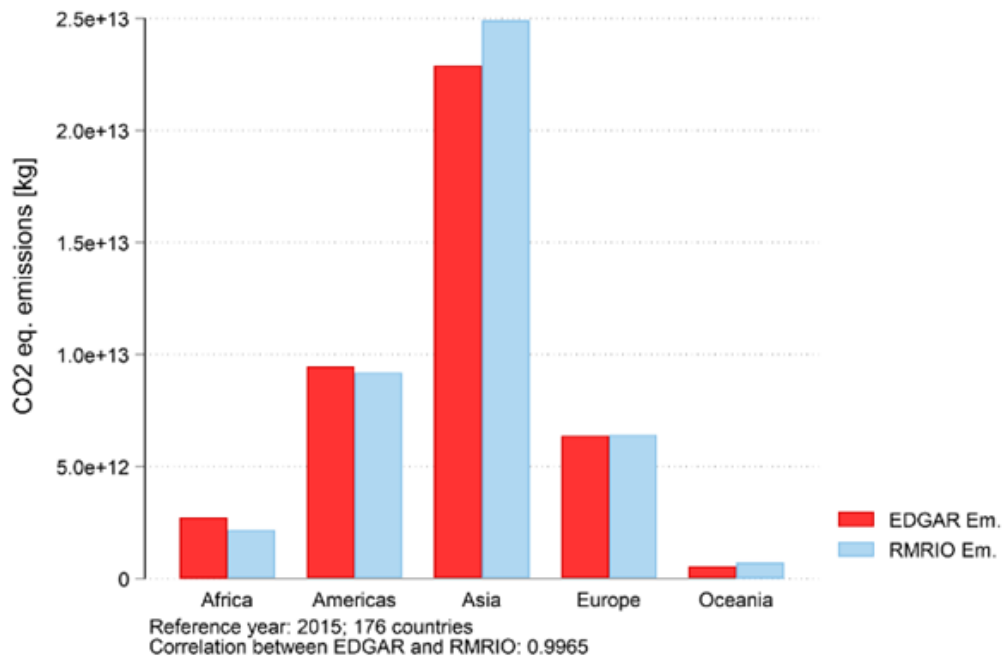
Atteindre ce niveau de granularité a un coût pour une étude sur les GES dans les pays en développement, notamment en Afrique. RMRIO désagrège les données d'EXIOBASE en les pondérant avec des informations extraites d'EORA, de FAOSTAT et d'études antérieures.<sup>7</sup> Les données sur la plupart des pays africains ne sont pas collectées mais sont le résultat d'estimations et d'imputations pour les données

manquantes. Par exemple, aucun pays africain inclus dans EORA ne dispose d'un tableau intrants-extrants pour une seule année. Cela est susceptible d'entraîner des erreurs dans le calcul des émissions totales et directes de chaque pays-secteur, même si, dans l'ensemble, ces erreurs sont susceptibles d'être confinées à de petits secteurs ayant peu d'effet sur les estimations des agrégats en termes d'empreintes.<sup>8</sup> RMRIO est cependant l'ensemble de données le plus complet à notre disposition et nous pensons que les avantages de sa couverture étendue l'emportent sur ses défauts. Par exemple, sur la base de l'ensemble de données RMRIO utilisé dans ce document, Cabernard et Pfister (2021) estiment qu'un tiers du stress hydrique de l'UE en 2015 provient d'autres pays, notamment l'Égypte et Madagascar.

Un autre défaut de RMRIO est qu'il regroupe les émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, hydrofluorocarbure et composé perfluoré de l'EORA, pondérées par leur potentiel de réchauffement respectif, en une seule mesure de l'impact sur le changement climatique, mesurée en équivalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e). Comme le soulignent Copeland et al. (2021) dans leur deuxième fait stylisé, les différents types de pollution sont corrélés, de sorte que l'agrégation de ces polluants ne devrait pas modifier radicalement les résultats par rapport aux études portant sur un seul polluant. En outre, pour nos besoins, nous avons finalement besoin d'une mesure unique pour identifier ce que nous définirons comme un secteur "propre". Dans ce contexte, il est logique d'utiliser un agrégat de tous les gaz nocifs.<sup>9</sup> Tous les chiffres relatifs aux émissions rapportés ici font référence au CO<sub>2</sub>e.

Les données sur les émissions proviennent d'EORA, qui les tire à son tour de la base de données sur les émissions pour la recherche atmosphérique mondiale (EDGAR) de l'Union européenne (Crippa et al., 2021). Il convient de noter qu'EDGAR, et par extension EORA et RMRIO, ne tient pas compte de la combustion de biomasse à grande échelle (comme les feux de forêt ou de savane) et d'autres émissions provenant de l'utilisation des terres, du changement d'utilisation des terres et de la foresterie (LULUCF). La prise en compte de l'UTCF augmenterait considérablement les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> pour l'Afrique. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014) estime que, les émissions de LULUCF peuvent représenter une part importante, entre 11% et 17%, des émissions anthropiques totales.

EDGAR calcule les émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres GES à partir d'informations sur l'activité et la technologie par pays-secteur et en les multipliant par des facteurs d'émission propres à chaque pays (Crippa et al., 2021). EDGAR couvre 218 pays. Les données sous-jacentes de l'AIE n'ont pas ce niveau de désagrégation, ce qui est important pour cette étude axée sur les pays africains qui doivent être désagrégés pour être ajoutés dans EDGAR. Ceci, ajouté au fait que RMRIO désagrège davantage ces données en 163 secteurs, est susceptible d'ajouter de l'incertitude aux résultats concernant ces pays. Cependant, comme le montre la figure 1, les différences dans les estimations d'émissions entre EDGAR et RMRIO restent faibles. Cela justifie l'utilisation des données RMRIO plus désagrégées.

**Figure 1 : Émission de CO<sub>2</sub>e - EDGAR vis-à-vis de RMRIO**

Source : Calculs des auteurs à partir des bases de données EDGAR et RMRIO.



### 3. Émissions de CO2e à travers les régions : 1995-2015

Nous présentons les émissions de CO2e par région (voir tableaux A1-A5 pour la liste des pays de chaque région), en commençant par les intensités et la croissance des émissions totales. Nous présentons ensuite les émissions directes et indirectes entre les régions, les émissions indirectes étant les émissions provenant de l'extérieur de la région dans les intrants intermédiaires importés, ce qui est également une mesure de l'implication dans le commerce extrarégional des chaînes de valeur mondiales. Pour prendre un exemple, les émissions de CO2e dans la production de plastiques de base (une activité à forte intensité de CO2e en Afrique émettant 16 kg d'équivalent CO2 par € produit) sont décomposées en émissions directes provenant de la production dans n'importe quel pays africain et en émissions indirectes incorporées dans les intrants intermédiaires provenant de n'importe laquelle des autres régions. Pour les plastiques de base, seuls 2,2% des émissions proviennent d'Afrique.

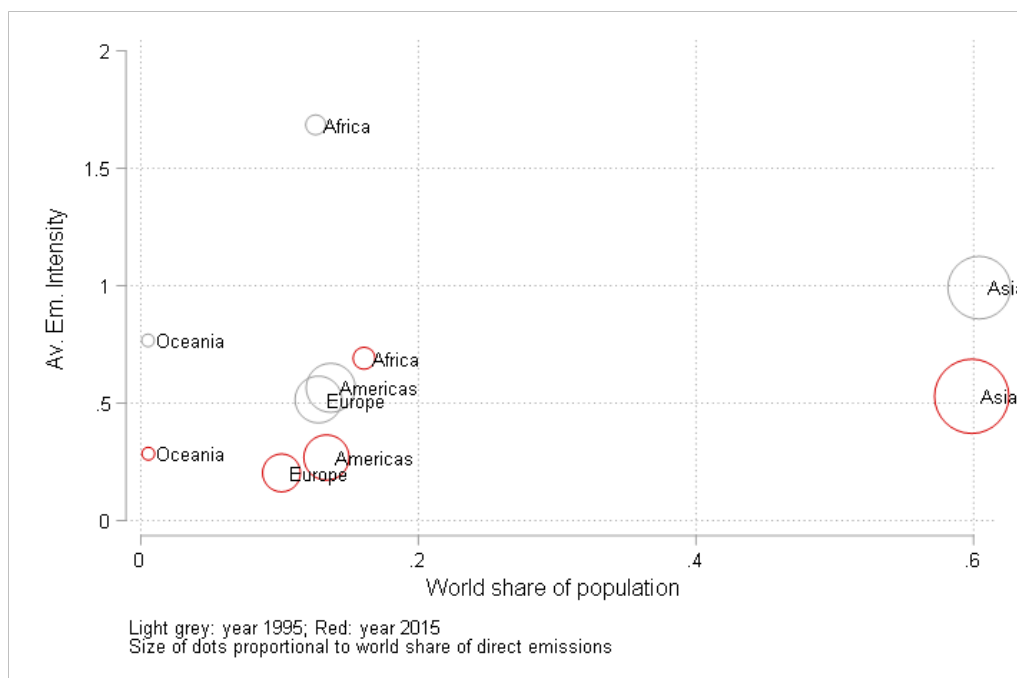
#### Émissions de CO2e par région

La figure 2 montre les parts régionales (pondérées par le produit brut du pays) des émissions de CO2e (taille des bulles), les intensités moyennes des émissions (axe vertical) et les parts de population (axe horizontal) pour 1995 et 2015. La taille des bulles est proportionnelle à la part de la région dans les émissions totales de CO2e dans le monde. L'évolution de la taille des bulles pour chaque région reflète les effets combinés de la croissance (effet d'échelle), d'un déplacement de la production entre des secteurs (et des pays) ayant des intensités d'émission différentes (effet de composition) et d'un effet technique (changement de l'intensité des émissions au sein des secteurs). Dans les pays en développement, notamment en Afrique, l'évolution des émissions reflète également l'urbanisation en cours.<sup>10</sup> Cette décomposition est présentée dans la sous-section suivante. Il faut garder à l'esprit que, puisque ces estimations régionales sont agrégées à partir des émissions au niveau des pays, elles comptent deux fois les émissions le long des chaînes d'approvisionnement. Cela peut être important si un pays (ou ici une région) importe des intermédiaires à forte intensité en CO2e.

Si l'on regarde d'abord les intensités d'émission totales, en 2015, l'Asie qui comprend la Chine est de loin le plus grand émetteur avec 24,6 milliards de kilogrammes de CO2e en 2015, suivie par les Amériques avec 9,19 milliards de kilogrammes. En comparaison,

l'Afrique émet peu, avec 2,18 milliards de kilogrammes de CO<sub>2</sub>e. Cinq tendances bien documentées se dégagent. Premièrement, les intensités moyennes régionales en CO<sub>2</sub>e ont diminué dans toutes les régions. Deuxièmement, l'Asie, qui était déjà le plus grand émetteur en 1995, a augmenté sa part au cours de la période, même si la part de sa population a légèrement diminué. Troisièmement, à l'exception de l'Océanie, l'Afrique a la plus petite part d'émissions de CO<sub>2</sub>e malgré une part de population supérieure à celle de l'Europe ou des Amériques. Quatrièmement, l'Afrique est la seule région dont la part de la population augmente. Cinquièmement, l'Afrique a connu la plus forte baisse des émissions moyennes au cours de la période.

**Figure 2 : Intensité totale des émissions de CO<sub>2</sub>e (kg/€) et part de la population par région : 1995 et 2015**



Source : Estimations des auteurs à partir de RMRIO.

En 2015, la part de la population de l'Afrique était plus importante que celle de l'Europe ou des Amériques, mais sa part dans les émissions mondiales est restée inchangée. En 2015, malgré une baisse importante, l'intensité des émissions en Afrique et en Asie était plus de deux fois supérieure à celle des autres régions (voir la figure 4 pour la tendance temporelle). Il ressort immédiatement de cette figure qu'il est difficile de convaincre les pays africains qu'ils doivent réduire leurs émissions si cette réduction a un coût. Un soutien financier pour construire une urbanisation à faible émission de carbone serait prometteur (Bigio, 2015).

## Décomposer la croissance des émissions

Le tableau 1 et la figure 3 décomposent la croissance des émissions. Le tableau 1 décompose les émissions de CO<sub>2</sub>e par unité de production (CO/Y) en un produit de l'intensité des émissions de CO<sub>2</sub>e de la consommation d'énergie (CO/CE) par l'intensité énergétique de la production brute (CE/Y), soit:

$$\frac{CO}{Y} \equiv \frac{CO}{CE} \frac{CE}{Y} \quad (1)$$

Où : CO représente les émissions (en kilogrammes d'équivalents CO<sub>2</sub>), Y la production brute en € et CE la consommation d'énergie primaire en kWh. Une forte intensité d'émission par unité de production (CO/Y) peut être le résultat d'une forte émission par kWh d'énergie consommée (CO/CE), ou d'une forte consommation d'énergie par unité de production (CE/Y), ou les deux. Dans le premier cas, cela signifie probablement que les sources d'énergie "sales" sont principalement utilisées dans l'économie. Le second suggère que le pays est spécialisé dans les activités à forte intensité énergétique ou qu'il ne dispose pas des technologies de réduction - ou des incitations - nécessaires pour réduire les émissions.

Le tableau 1 montre que les émissions de CO<sub>2</sub>e par unité de PIB sont les plus élevées en Afrique, surtout en 1995, mais que l'écart avec l'Asie s'est fortement réduit au cours de la période de 20 ans, un changement également illustré par la figure 2. L'intensité totale des émissions (CO/Y) a diminué dans toutes les régions, en grande partie à cause de la forte baisse de la consommation d'énergie par unité de production (CE/Y), dans toutes les régions. Toutefois, les émissions par kWh d'énergie consommée (CO/CE) ont augmenté dans toutes les régions, à l'exception de l'Europe, la hausse la plus forte ayant été enregistrée en Afrique et en Asie.

**Tableau 1 : Décomposition des émissions totales de CO<sub>2</sub>e par région**

Région	1995			2015		
	Em/ production (CO/Y)	Em/En (CO/CE)	En/ production (CE/Y)	Em/ production (CO/Y)	Em/En (CO/CE)	En/ production (CE/Y)
<b>Afrique</b>	<b>1.683</b>	<b>0.228</b>	<b>7.380</b>	<b>0.664</b>	<b>0.383</b>	<b>1.732</b>
Amériques	0.565	0.182	3.106	0.268	0.211	1.273
Asie	0.988	0.154	6.394	0.529	0.298	1.777
Europe	0.515	0.221	2.329	0.204	0.197	1.034
Océanie	0.760	0.260	2.927	0.285	0.356	0.800

Note : Décompositions de l'équation 1.

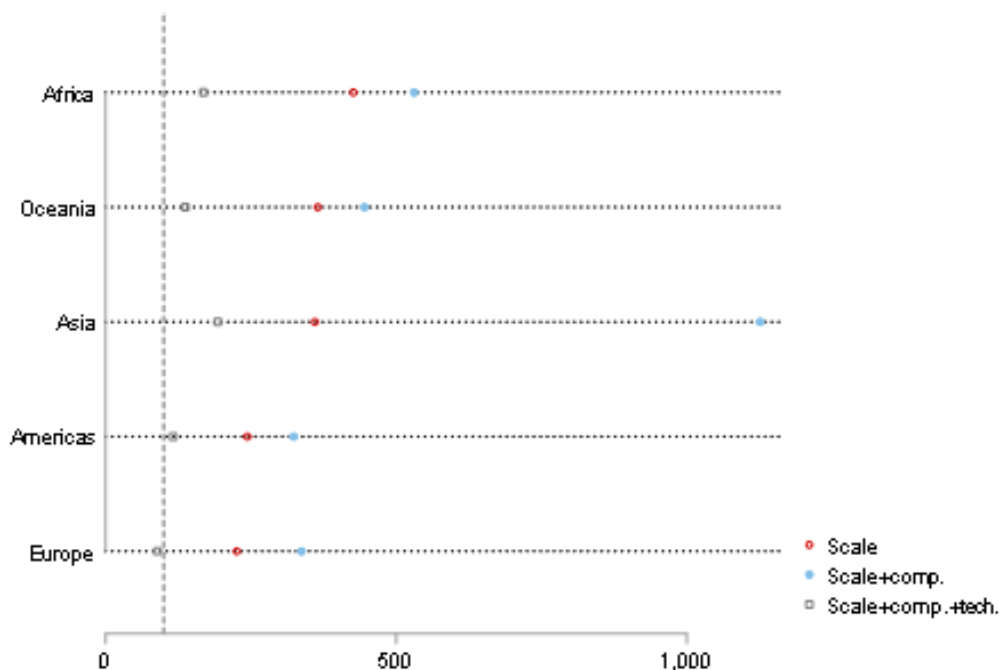
Source : Calculs des auteurs à partir de RMIRO.

La différenciation totale de (1) décompose la croissance des émissions de CO<sub>2</sub>,  $\widehat{CO}$ , entre les deux périodes<sup>11</sup> en trois composantes : la croissance (effet d'échelle),  $\widehat{Y}$ ; changement de l'intensité énergétique (effet de composition où les intensités d'émissions au niveau sectoriel sont maintenues à leur valeur de 1995),  $\widehat{E}_Y$ ; et l'effet technique (variation de l'intensité de carbone de la production),  $\widehat{C}_E$ , soit.,

$$\widehat{CO} = \widehat{Y} + \widehat{E}_Y + \widehat{C}_E \quad (2)$$

La figure 3 applique la décomposition par région, les régions étant classées par croissance décroissante du PIB (cercle creux) sur la période. Si les effets de la technique et de la composition entre les pays et les secteurs restaient inchangés, cela représenterait la croissance des émissions sur la période.

**Figure 3 : Décomposition de la croissance des émissions par région (Effets d'échelle, de composition et de technique)**



Note : Les régions sont classées par ordre décroissant d'échelle. L'échelle représente 100 fois la production en 2015 divisée par la production en 1995. Échelle + composition modifie la valeur de l'échelle afin de maintenir la technique (taux d'émission) constante pour chaque (pays\*secteur), c'est-à-dire telle qu'elle était en 1995. Échelle + composition + technique représente 100 fois les émissions en 2015 divisées par les émissions en 1995. La ligne verticale à "changement d'émissions" = 100 représente la valeur de l'absence de changement dans les émissions entre 1995 et 2015.

Les cercles bleus remplis montrent comment les émissions auraient évolué si la composition et l'échelle avaient changé mais que les techniques étaient restées inchangées. La distance horizontale entre les cercles creux et bleus représente

la manière dont la composition seule a affecté les émissions. L'énorme effet de composition positif pour l'Asie reflète la croissance de la Chine (environ 10 % par an en moyenne). Pour toutes les régions, l'effet de composition a contribué à la croissance des émissions. Les carrés montrent comment les émissions ont réellement changé. L'effet technique, qui est la différence entre l'effet (échelle + composition + technique) et l'effet (échelle + composition), a contribué à réduire la croissance des émissions.<sup>12</sup>

Deux tendances apparaissent selon les régions. Premièrement, l'effet d'échelle est plus important dans les régions les plus pauvres, avec une croissance nulle en Europe et dans les Amériques (fait stylisé n°6 dans Copeland et al. [2022]).<sup>13</sup> Deuxièmement, pour toutes les régions à l'exception de l'Asie, l'effet technique est plus important que l'effet de composition, un résultat qui corrobore également le fait stylisé n°9 de Copeland et al. (2022) observé au niveau des pays. Ce résultat quelque peu déroutant selon Copeland et al. suggère que les théories sur la détermination du commerce international ont peu de poids dans la contribution globale à la croissance des émissions de CO<sub>2</sub>.<sup>14</sup>

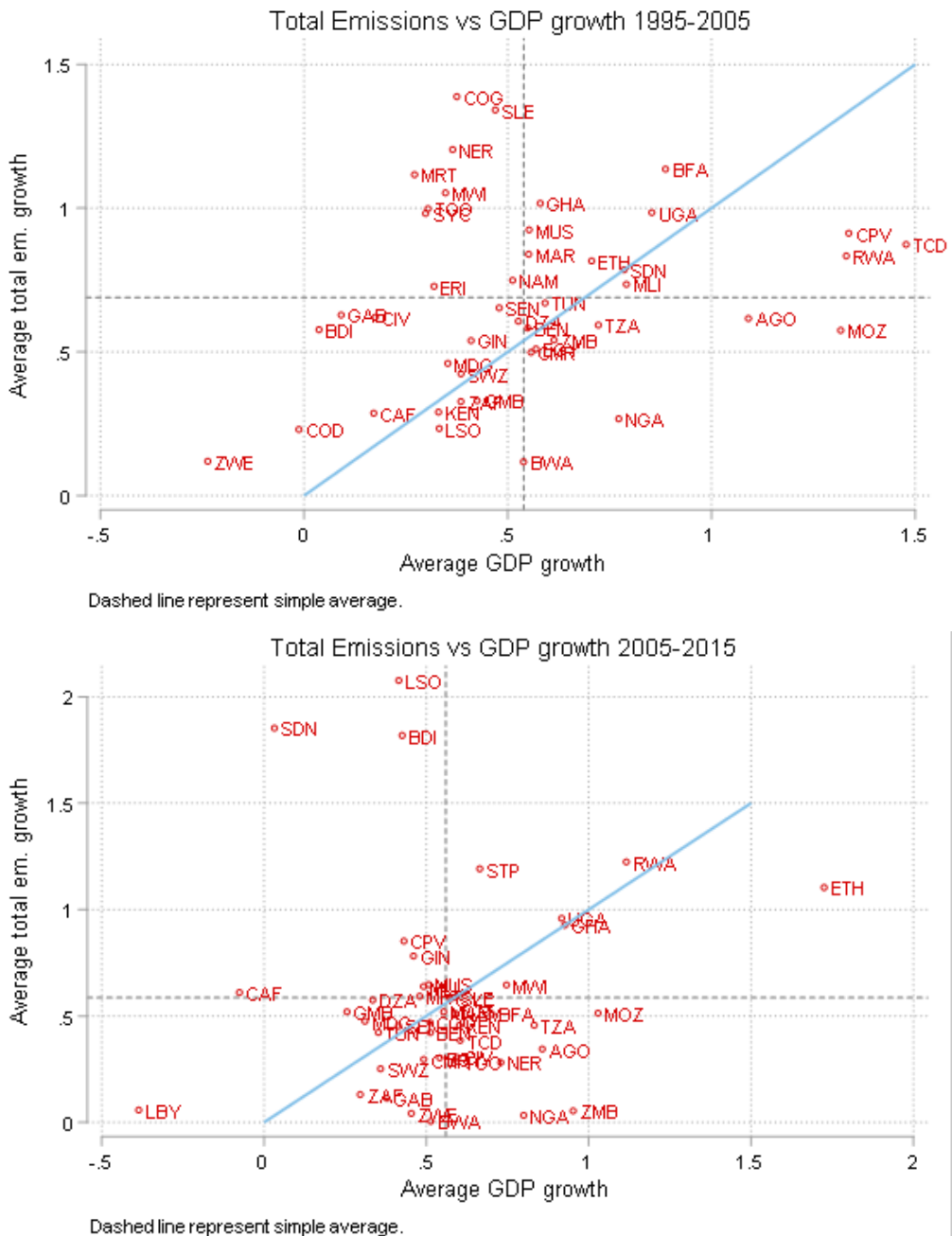
## Croissance des émissions en Afrique

La figure 4 représente la croissance décennale des émissions de CO<sub>2</sub>e par rapport aux taux de croissance décennaux du PIB pour chaque pays africain. Pour la plupart des pays africains, la croissance des émissions a dépassé la croissance du PIB (points au-dessus de la ligne de 45° dans la figure 4) au cours de la période 1995-2005, c'est-à-dire que la plupart des pays africains continuaient à se carboniser, bien qu'à un rythme plus lent au cours de la période 2005-2015, lorsque les émissions et le PIB ont augmenté à peu près au même rythme (la croissance moyenne des émissions et la croissance moyenne du PIB se sont croisées près de la ligne de 45°).

Certains pays ont changé de statut entre les deux décennies. L'Éthiopie s'est carbonisée entre 1995 et 2005, mais s'est décarbonisée entre 2005 et 2015, la décennie de croissance rapide. Le Ghana est également passé de la carbonisation à la décarbonisation au cours de la période de 20 ans. Le Lesotho est passé de la décarbonisation à la carbonisation.

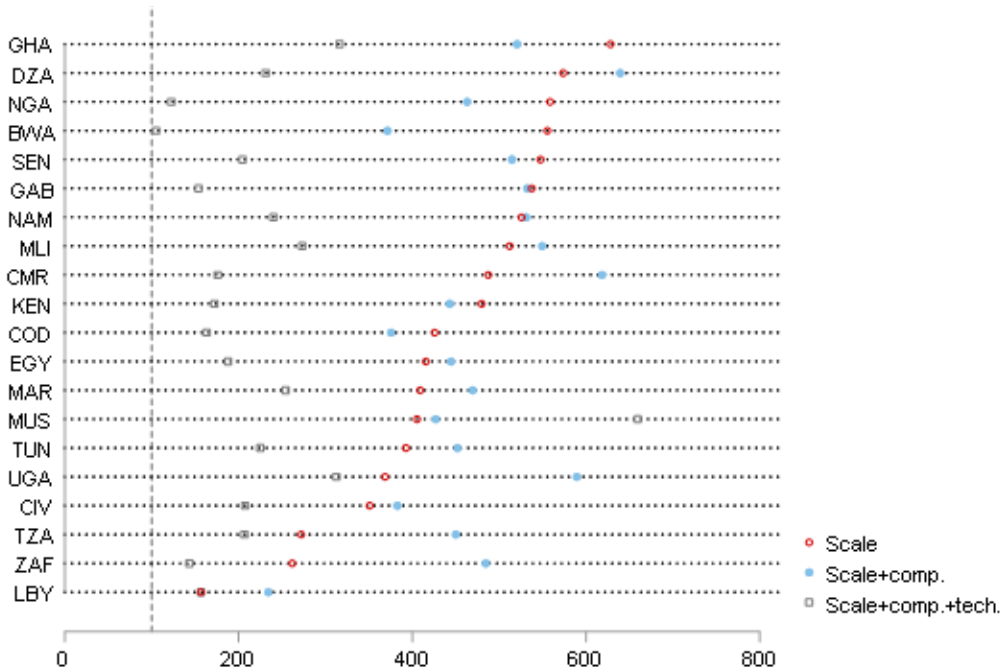
La figure 5 reproduit la décomposition de la figure 3 pour les 20 pays africains présentant les effets d'échelle les plus importants, classés par ordre d'échelle décroissant. Cette fois, l'effet de composition est entièrement interne au pays. D'après la figure, 12 des 20 pays se sont orientés vers des secteurs plus intensifs en CO<sub>2</sub>, tous sauf trois en bas de la figure. Pour tous les pays, à l'exception de l'île Maurice, l'effet technique a contribué à réduire la croissance des émissions. Pour de nombreux pays, l'effet technique était important, bien que la différence avec les effets de composition soit généralement plus faible que celle signalée par Copeland et al. (2021 : figure 6). Pour tous les pays sauf quatre, l'effet technique était plus important que l'effet de composition, ce qui confirme le fait stylisé #9 de Copeland et al. (2021).<sup>15</sup> Ce résultat est remarquable car le RMRIO compte un nombre de secteurs beaucoup plus important que l'EORA, ce qui devrait contribuer à des effets de composition plus importants.

**Figure 4 : Taux de croissance décennale : Émissions de CO2e par rapport au PIB en Afrique**



Notes : Les valeurs représentent la croissance au cours de la décennie. Les lignes pointillées verticales et horizontales indiquent les taux de croissance moyens simples du PIB et des émissions de CO2, respectivement, sur l'échantillon. L'intersection des deux lignes au-dessous (au-dessus) de la ligne à 45° indique que les émissions moyennes augmentent plus lentement (c'est-à-dire qu'elles se découplent) ou plus rapidement (c'est-à-dire qu'elles se carbonisent) que le PIB moyen. En moyenne, l'Afrique se carbonise sur les deux périodes, mais beaucoup moins sur la période 2005-2015. Codes pays ISO dans le tableau A1 (en annexe).  
 Source : Estimations des auteurs à partir de RMRIO.

**Figure 5 : Décomposition de la croissance des émissions par pays : 1995-2015 (Effets d'échelle, de composition et de technique)**



Notes : La figure présente les 20 effets d'échelle les plus importants. La figure B1 (en annexe) rapporte la décomposition pour tous les pays africains. Même présentation que dans la figure 3, sauf que les effets de composition ne s'appliquent qu'aux changements entre les secteurs au sein des pays. Les pays sont classés par valeurs d'échelle décroissantes. L'échelle représente 100 fois la valeur ajoutée en 2015 divisée par le PIB en 1995. L'échelle + la composition modifie la valeur de l'échelle pour que la technique (taux d'émission) reste constante pour chaque pays\*secteur comme elle l'était en 1995. Échelle + composition + technique représentent 100 fois les émissions en 2015 divisées par les émissions en 1995. La ligne verticale à "changement d'émissions" = 100 représente la valeur d'aucun changement d'émissions entre 1995 et 2015. L'Angola, l'Éthiopie et la Zambie sont exclus.

Source : Calculs des auteurs inspirés de Copeland et al. (2021) : Figure 6).

**Illustration 1 :** Toutes les régions ont réduit l'intensité de leurs émissions au cours de la période 1995-2015. La part de l'Afrique dans les émissions mondiales de CO2 est restée constante sur la période 2000-2015. L'Asie, qui était déjà la région ayant la plus grande part des émissions mondiales en 2000, a renforcé sa position de leader. L'Europe et les Amériques ont réduit leur part d'émissions de neuf et huit points de pourcentage, respectivement. L'Asie se décarbonise ; l'Afrique pas encore.

**Illustration 2 :** Décomposition de Kaya. L'intensité en carbone de la production a augmenté en Afrique au cours des deux décennies, mais beaucoup moins au cours de la période 2005-2015 où, en moyenne, les émissions ont augmenté moins rapidement que la population. Plus de la moitié des 20 pays africains dont les émissions ont le plus augmenté se sont tournés vers des techniques plus intensives en carbone.

## 4. Intensité des émissions, directes et indirectes

Pour obtenir une vision plus approfondie de l'émission totale de carbone générée par la production le long des chaînes d'approvisionnement, il faut prendre en compte les émissions directes et indirectes. Pour ce faire, nous utilisons le tableau MRIO décrit ci-dessus pour calculer les émissions indirectes en équivalent CO<sub>2</sub>, comme cela est courant dans la littérature (par exemple, Shapiro, 2021 ; Copeland et al., 2021).

La matrice des émissions de CO<sub>2</sub>e  $E_{is}^{direct}$  associé au RMRIO fournit l'intensité d'émission directe pour chaque pays  $i$  et secteur  $s$ . Le taux d'émission total  $E_{i,s}^T$  entre les secteurs et les pays est alors donné par:

$$E_{i,s}^T = \sum_{j,t} L_{ijst} E_{jt}^{direct} \quad (3)$$

Où:  $L = (I - A)^{-1}$  est l'inverse de Leontief dérivé de la matrice d'intrants-extrants  $A$  où chaque ligne énumère l'industrie fournissant des intrants et chaque colonne énumère l'industrie demandant des extrants. La matrice  $L$  utilisée dans l'équation 3 est le même inverse de Leontief utilisé pour calculer les mesures de la participation aux CVM (voir la section 5 pour plus de détails). Les émissions indirectes sont calculées à partir de (3) comme la différence entre les émissions totales et directes :

$$E_{is}^{indirect} = E_{is}^T - E_{is}^{direct} \quad (4)$$

Il faut être prudent lors de l'agrégation de ces valeurs afin d'éviter un double comptage pour l'utilisation intermédiaire. Par exemple, les émissions liées à la production de plastiques ne doivent pas être incluses dans les émissions des véhicules qui utilisent des plastiques comme intrants. Les émissions indirectes  $E_{is}^{indirect}$  représentent les émissions causées par la production d'intermédiaires (provenant du secteur  $j$ , par exemple) qui seront utilisés pour produire des biens dans le secteur  $i$ . Lorsque l'on agrège les deux secteurs, le fait d'additionner respectivement les intensités d'émission directe et indirecte  $s$  pour obtenir une émission agrégée entraînera un double comptage des émissions indirectes, car une partie des émissions directes générées par le secteur  $j$  est également comptée comme des émissions



indirectes dans le secteur *i*. Pour contourner ce problème, seules les émissions indirectes des secteurs extérieurs à l'agrégat (pays ou région) sont prises en compte pour l'émission indirecte de l'agrégat.

Le champ d'application de ce document couvre l'ensemble de l'Afrique, le continent qui compte le plus grand nombre de pays très hétérogènes, tant sur le plan économique (riches-pauvres, grands-petits) que géographique (enclavés, côtiers, éloignés des routes et des partenaires commerciaux). Comparer les émissions de l'Afrique avec celles d'autres régions, souvent hétérogènes, peut aider à la conception de politiques environnementales. Au lieu de chercher des comparateurs par sous-région ou par pays individuel, une alternative consiste à construire un comparateur synthétique. Les méthodes du plus proche voisin et de l'appariement par score de propension sont souvent utilisées, mais la méthode d'équilibrage par entropie proposée par Hainmueller (2012) présente des avantages et est facilement réalisable dans STATA (voir Hainmueller & Xu, 2013).

Étant donné un ensemble de caractéristiques à intégrer (ici : le revenu par habitant, la part de l'industrie manufacturière dans le PIB et la distance par rapport aux partenaires commerciaux), l'équilibrage entropique choisit l'ensemble des pays de comparaison en leur attribuant des poids de sorte que les moments de l'échantillon (moyennes, écarts types et asymétrie) minimisent la différence entre les distributions des covariables des caractéristiques sélectionnées pour tous les pays africains et le groupe de comparaison sélectionné de manière endogène. Le tableau 2 donne la liste des 20 pays ayant les poids les plus importants dans le groupe de comparaison.

**Tableau 2 : Poids des pays dans le groupe comparateur de l'Afrique**

Pays	Poids (part)	Pays	Poids (part)
Irak	0.128	Sri Lanka	0.0295
Yémen	0.0794	Myanmar	0.0235
Bolivie	0.0793	Afghanistan	0.0209
Bangladesh	0.0714	Paraguay	0.0201
Fidji	0.0608	Papouasie-Nouvelle-Guinée	0.0197
Cambodge	0.0420	Laos	0.0179
Pérou	0.0406	Samoa	0.0177
Pakistan	0.0397	Cuba	0.0173
Philippines	0.0371	Brésil	0.0166
Vietnam	0.0300	Arménie	0.0165

Notes : Le tableau présente les 20 pays ayant les poids les plus importants pour 2015. Les classements et les pondérations de 1995 sont proches de ceux de 2015. Liste complète des 86 pays dans le tableau A6 (en annexe). Les pays à haut revenu reçoivent des pondérations négligeables.

Source : Calculs des auteurs.

## La source des émissions par région

Le tableau 3 présente les émissions totales de CO<sub>2</sub>e par région pour 1995 et 2015 dans les deux dernières colonnes avec l'origine et les destinations entre les régions dans une matrice de parts. Pour les deux années, environ 80% des émissions proviennent de chaque région, bien que l'effet de la délocalisation de l'activité soit apparent dans la chute des parts intra-régionales dans toutes les régions en 2015. Plusieurs tendances se dégagent. Premièrement, le carbone incorporé dans le commerce a augmenté dans toutes les régions, bien que dans une moindre mesure dans les Amériques où la part intra régionale n'a baissé que de quatre points de pourcentage sur la période. Deuxièmement, l'importance de l'Europe et, dans une moindre mesure, des Amériques, qui s'approvisionnent en émissions auprès des régions à faible revenu, en particulier l'Asie (fait stylisé n° 8 dans Copeland et al., 2021). Entre 1995 et 2015, l'Europe a doublé sa part d'émissions en provenance d'Asie (16,2 %), parallèlement à une forte réduction des émissions provenant d'Europe. Quant à l'Afrique, la part des émissions de CO<sub>2</sub>e provenant d'Asie est passée de 4 % à 11 % au cours de la période de 20 ans, mais est restée stable pour l'Europe. Les exportations africaines d'émissions de CO<sub>2</sub>e sont faibles, la part la plus importante étant destinée à l'Europe.

**Tableau 3 : Émissions et intensités de CO<sub>2</sub>e par source**

(a) 1995							
Destination	Source					CO <sub>2</sub> e (kg) <sup>a</sup>	Intensité (kg/€) <sup>b</sup>
	Afrique (Part)	Amériques (Part)	Asie (Part)	Europe (Part)	Océanie (Part)		
Afrique	0.917	0.010	0.039	0.029	0.003	1.41 · 10 <sup>12</sup>	1.835
Amériques	0.012	0.891	0.054	0.038	0.003	8.90 · 10 <sup>12</sup>	0.634
Asie	0.011	0.035	0.898	0.045	0.009	1.44 · 10 <sup>13</sup>	1.100
Europe	0.019	0.035	0.083	0.858	0.003	8.40 · 10 <sup>12</sup>	0.599
Océanie	0.003	0.028	0.098	0.030	0.837	6.25 · 10 <sup>11</sup>	0.908
(b) 2015							
Destination	Source					CO <sub>2</sub> e (kg) <sup>a</sup>	Intensité (kg/€) <sup>b</sup>
	Afrique (Part)	Amériques (Part)	Asie (Part)	Europe (Part)	Océanie (Part)		
Afrique	0.843	0.014	0.109	0.031	0.002	2.58 · 10 <sup>12</sup>	0.788
Amériques	0.010	0.849	0.104	0.032	0.003	1.08 · 10 <sup>13</sup>	0.316
Asie	0.017	0.041	0.882	0.047	0.013	2.83 · 10 <sup>13</sup>	0.600
Europe	0.037	0.050	0.162	0.745	0.004	8.62 · 10 <sup>12</sup>	0.273
Océanie	0.013	0.025	0.149	0.027	0.786	9.13 · 10 <sup>11</sup>	0.363

Notes : Part des émissions directes (au sein de la région) en gris. Les chiffres sont arrondis à trois décimales. La somme des rangs est égale à 1. a/ de Figure 2; b/ de Figure 6. En 2015, l'Afrique tire 10,9 % de ses émissions de l'Asie et 3,1 % de l'Europe. L'Europe produit 3,7 % de ses émissions à partir de l'Afrique. Les deux dernières colonnes indiquent les émissions totales et l'intensité totale des émissions.

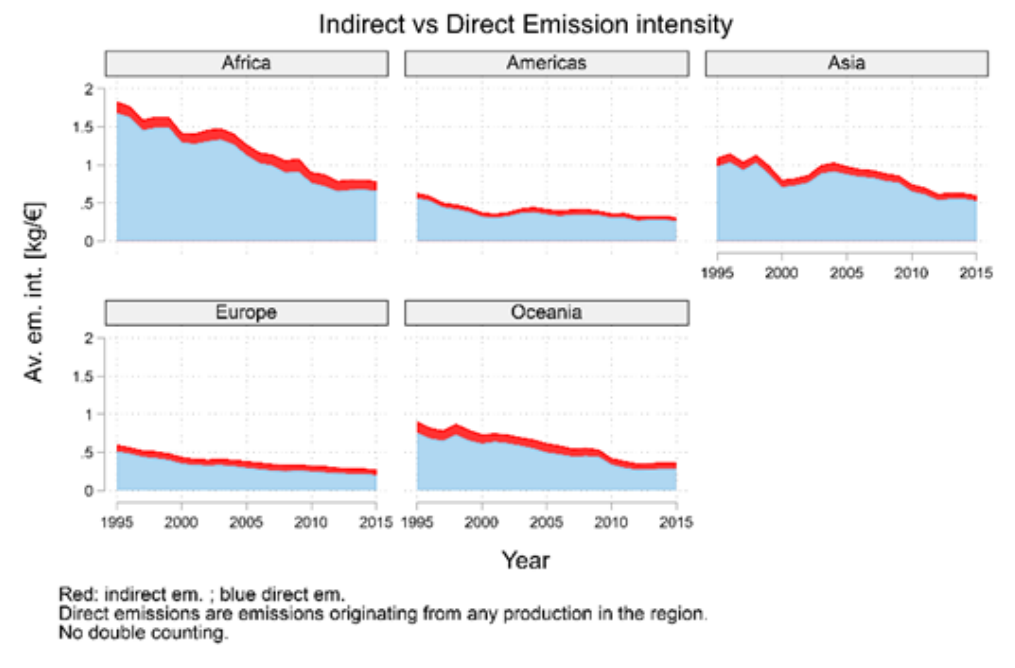
Source : Calculs des auteurs à partir des estimations du RMRIO.

## Intensité des émissions : Directes et indirectes

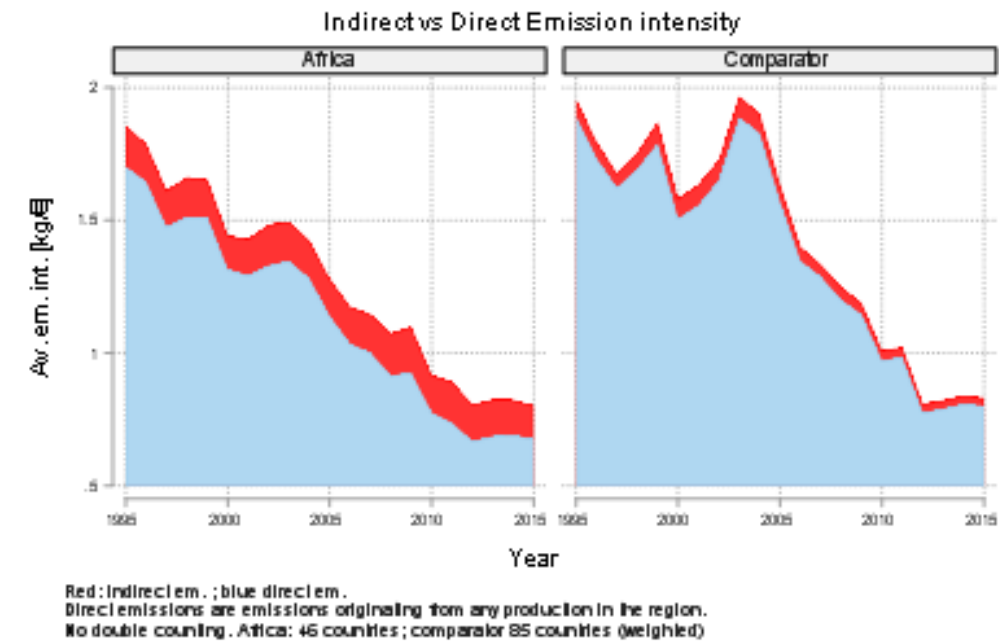
La figure 6(a) présente les émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub> (c'est-à-dire les émissions de CO<sub>2</sub> provenant d'une autre région que celle qui est examinée) par région. Quatre tendances se dégagent. Premièrement, la région Afrique se distingue par l'intensité moyenne la plus élevée des émissions totales de CO<sub>2</sub>e. Deuxièmement, on observe une tendance à la baisse de l'intensité des émissions dans toutes les régions au cours de la période 1995-2015. Troisièmement, malgré une réduction, les intensités d'émission restent les plus élevées dans les régions Afrique et Asie. Quatrièmement, les intensités d'émissions indirectes semblent être plus faibles pour l'Europe et les Amériques. Pour les sept pays d'Océanie, la petite taille de huit économies et l'absence d'extraction de ressources contribue à la faiblesse des émissions, tandis que pour la Nouvelle-Zélande et l'Australie, l'éloignement géographique de nombreux partenaires commerciaux représente un obstacle à la participation aux chaînes de valeur mondiales.

Si l'on se tourne vers le comparateur synthétique présenté sur le graphique 6(b), deux faits émergent. Premièrement, le comparateur, construit pour correspondre plus étroitement à la composition des économies africaines en termes de trois indicateurs structurels (revenu par habitant, part de l'industrie manufacturière dans le PIB et distance par rapport aux partenaires commerciaux), suit plus fidèlement la trajectoire des intensités que les autres régions. Ceci n'est pas surprenant puisque les autres régions comprennent plusieurs pays à haut revenu ayant des politiques plus environnementales qui pèsent lourdement dans les intensités moyennes régionales. La proximité des trajectoires est également la preuve que quelques caractéristiques sont de bons indicateurs des intensités d'émission. Deuxièmement, les émissions totales de CO<sub>2</sub>e (représentées par la somme des zones bleues et rouges) sont parfois supérieures aux émissions de CO<sub>2</sub>e en Afrique, ce qui suggère que le niveau élevé d'intensités d'émissions affiché par les économies africaines est étroitement corrélé à leurs caractéristiques intrinsèques. Notez que le niveau plus faible d'émissions indirectes affiché par le comparateur est principalement dû à la façon dont les émissions indirectes sont construites. Pour éviter les doubles comptages, nous considérons comme émissions indirectes uniquement les émissions provenant de l'extérieur de l'agrégat examiné. Comme notre comparateur synthétique comprend plus de 80 pays, il aura mécaniquement moins d'émissions indirectes que les autres agrégats présentés dans la Figure 6.

**Figure 6 : Évolution de l'intensité des émissions de CO<sub>2</sub>e (directes et indirectes)**  
**(a) Par région**



**(b) L'Afrique et le comparateur synthétique**



Notes : Moyenne nationale pondérée par la production brute dans chaque région.  
 Source : Calculs des auteurs à partir de RMRIO.

## Hétérogénéité des intensités d'émission au niveau sectoriel

La grande granularité de la base de données RMRIO invite également à des comparaisons d'émissions entre secteurs. Il faut cependant garder à l'esprit que, surtout pour l'Afrique, même au niveau d'agrégation de l'EORA, il y a de grandes divergences dans les multiplicateurs calculés entre les pays avec ceux rapportés dans d'autres MRIO comme TiVA. Il faut garder cela à l'esprit, surtout lorsque l'accent est mis sur l'Afrique où aucun pays ne dispose d'un tableau des intrants - extrants pour une année donnée.<sup>16</sup> Nous posons ici trois questions : (i) les modèles de secteurs propres et sales (directs et indirects) sont-ils les mêmes d'une région à l'autre et, en particulier, d'un pays à l'autre en Afrique ; (ii) les secteurs sales sont-ils plus exposés au commerce que les secteurs propres ; (iii) les secteurs sales sont-ils plus en amont, et si oui, d'un pays à l'autre. Pour restreindre la comparaison, seuls les cinq secteurs les plus sales et les plus propres sont évalués. Il convient de noter que la sélection des secteurs ne sera pas la même d'une région à l'autre (et d'un pays à l'autre en Afrique), en partie à cause des différences dans les taux d'émission globaux au niveau des pays.

En guise de prélude, le tableau 4 montre une corrélation de rang de Spearman très élevée des intensités d'émission directe des secteurs entre les régions, en particulier entre l'Europe, les Amériques et l'Asie. Pour le coefficient de corrélation des intensités d'émission de l'Afrique avec celles des autres régions, il varie entre 0,68 (avec les Amériques et l'Asie) et 0,8 (avec l'Océanie). La corrélation moyenne d'environ 0,71 est élevée.<sup>17</sup> La corrélation régionale des intensités d'émissions totales de CO2e (entre parenthèses dans le tableau 4) présente des tendances similaires, avec une corrélation légèrement plus faible en moyenne pour les émissions totales que pour les émissions directes, ce qui indique que les achats intermédiaires modifient rarement le classement général. L'Océanie se distingue à cet égard car son coefficient de corrélation sur les émissions totales est généralement plus élevé que celui des émissions directes.

**Tableau 4 : Corrélation de classement de Spearman des intensités d'émission entre les régions**

	Corrélation de Spearman des intensités d'émission directe (totale) de CO2e entre les régions				
	Afrique	Amériques	Asie	Europe	Océanie
Afrique	1.00 (1.00)				
Amériques	0.68 (0.68)	1.00 (1.00)			
Asie	0.68 (0.70)	0.82 (0.71)	1.00 (1.00)		
Europe	0.70 (0.58)	0.81 (0.75)	0.81 (0.68)	1.00 (1.00)	
Océanie	0.80 (0.73)	0.66 (0.72)	0.62 (0.65)	0.69 (0.71)	1.00 (1.00)

Note : Corrélation régionale de l'intensité des émissions totales de CO2e entre parenthèses.

Source : Construction des auteurs à partir des données RMRIO.

**Tableau 5 : Secteurs les plus propres et les plus sales par région**

Secteur	Total de l'intensité de CO2	Int. CO2e direct	Part du Direct	Part de la production	En amont.
<b>Afrique</b>					
Fabrication de bois	0.248	0.00774	0.0312	0.0209	2.073
Fabrication de boissons	0.407	0.0228	0.0560	0.0156	1.964
Fabrication de produits à base de viande	0.417	0.0739	0.177	0.0523	1.566
Publication, imprimerie	0.489	0.0104	0.0213	0.0207	1.526
Traitement des huiles végétales	0.630	0.0955	0.152	0.0115	1.922
Fabrication d'instruments de précision	4.101	3.424	0.835	0.0172	1.172
Transformation de produits laitiers	4.646	0.0312	0.00672	0.0148	1.431
Fabrication de caoutchouc/plastique	4.934	2.495	0.506	0.0251	2.128
Transformation de la viande bovine	5.570	0.0566	0.0102	0.0327	1.580
Plastiques, de base	16.81	0.377	0.0224	0.0123	2.648
<b>Amériques</b>					
Publication, impression	0.167	0.0379	0.227	0.0374	1.909
Fabrication d'équipements radio	0.292	0.0226	0.0775	0.0409	1.791
Fabrication d'ordinateurs	0.300	0.00970	0.0323	0.0160	1.287
Fabrication d'autres matériels de transport	0.348	0.0291	0.0835	0.0379	1.694
Fabrication de machines électriques	0.357	0.00605	0.0169	0.0255	1.926
Raffinerie de pétrole	1.333	0.494	0.371	0.0878	1.731
Retraitement de l'acier secondaire	1.336	0.350	0.262	0.0104	3.033
Transformation de produits laitiers	1.533	0.0222	0.0145	0.0174	1.474
Fabrication de fer et d'acier de base	1.535	0.886	0.577	0.0156	2.877
Transformation de la viande bovine	7.012	0.0639	0.00911	0.0126	1.453
<b>Asie</b>					
Production de cuivre	0.507	0.123	0.242	0.0102	3.053
Transformation des produits alimentaires	0.603	0.0326	0.0540	0.0428	1.832
Publication, impression	0.764	0.0218	0.0286	0.0178	2.918
Fabrication d'équipements radio	0.832	0.0307	0.0369	0.0591	2.341
Fabrication d'ordinateurs	0.843	0.0200	0.0237	0.0280	2.376
Fabrication de produits céramiques	1.973	0.243	0.123	0.0144	2.263
Fabrication de caoutchouc/plastique	1.985	0.759	0.382	0.0395	3.066
Retraitement de l'acier secondaire	2.541	0.558	0.219	0.0130	3.495
Fabrication de fer et d'acier de base	3.131	1.541	0.492	0.0614	3.549
Fabrication de minéraux non métalliques	3.964	1.475	0.372	0.0124	2.889

*suite page suivante*

**Tableau 5 Continué**

Secteur	Total de l'intensité de CO2	Int. CO2e direct	Part du Direct	Part de la production	En amont.
<b>Europe</b>					
Publication, impression	0.195	0.0468	0.240	0.0388	2.179
Fabrication d'instruments de précision	0.234	0.0471	0.202	0.0340	1.780
Fabrication d'équipements radio	0.321	0.0380	0.118	0.0270	1.846
Fabrication de machines électriques	0.324	0.0144	0.0445	0.0511	2.357
Fabrication de machines	0.329	0.0164	0.0499	0.0881	1.840
Traitement des produits laitiers	1.047	0.0398	0.0381	0.0203	1.726
Raffinerie de pétrole	1.500	0.396	0.264	0.0512	2.161
Retraitement de l'acier secondaire	1.533	0.898	0.586	0.0106	3.125
Fabrication de fer et d'acier de base	1.592	1.007	0.632	0.0187	3.119
Fabrication de ciment	2.340	1.911	0.817	0.0128	2.567
<b>Océanie</b>					
Production de produits à base de viande	0.120	0.0202	0.168	0.0465	1.871
Publication, impression	0.169	0.0535	0.317	0.0525	2.060
Production de métaux précieux	0.172	0.157	0.912	0.0503	3.064
Fabrication de machines électriques	0.284	0.00649	0.0228	0.0139	2.221
Fabrication de textiles	0.302	0.0412	0.136	0.0105	2.231
Transformation des produits laitiers	0.869	0.0337	0.0388	0.0346	1.738
Fabrication de fer et d'acier de base	1.241	0.480	0.387	0.0292	2.993
Raffinerie de pétrole	1.454	0.421	0.290	0.0457	1.906
Fabrication de ciment	2.269	1.687	0.743	0.0192	2.860
Transformation de la viande bovine	5.067	0.0327	0.00645	0.0354	1.852

Notes : Arrière-plan blanc = cinq secteurs les plus polluants ; arrière-plan foncé = cinq secteurs les moins polluants.  
Source : Calculs des auteurs à partir du RMRIO.

Le tableau 5 présente les cinq secteurs les plus (fond blanc) et les cinq moins (fond foncé) polluants de chaque agrégat régional par intensité totale des émissions. Aucun de ces secteurs ne représente plus de 8,8 % de la production totale. Avec cinq régions et dix secteurs par région, s'il n'y avait pas de chevauchement entre les régions dans chaque catégorie, les classements feraient apparaître 50 secteurs différents. Le tableau 5 ne présente que 25 secteurs différents, dont 11 apparaissent plus d'une fois dans le classement. Par exemple, le secteur " Publication, impression " apparaît comme un secteur à faibles émissions dans tous les agrégats ; le secteur " Fabrication de fer et d'acier de base " apparaît comme un secteur à fortes émissions dans toutes les régions sauf en Afrique, et le secteur " Transformation des produits laitiers " figure parmi les cinq premiers émetteurs dans tous les agrégats sauf en Asie. Il existe également des différences marquées dans les classements. Le secteur "Fabrication d'instruments

de précision" est classé comme un secteur à fortes émissions en Afrique (intensité totale des émissions : 4,1), mais il apparaît comme un secteur à faibles émissions en Europe (intensité totale des émissions : 0,234). Si l'on tient compte du fait que la part des émissions directes dans le total est élevée pour ce secteur (20% pour l'Europe et 83% pour l'Afrique), cela suggère une grande différence de technologie entre les deux régions.

Dans un échantillon beaucoup plus petit comprenant seulement 35 secteurs, Copeland et al. (2021) montrent que les industries les plus sales sont généralement plus en amont que les plus propres. Nous trouvons des tendances similaires pour les Amériques (amont moyen de 2,11 pour les industries les plus sales contre 1,72 pour les plus propres), l'Asie (3,05 contre 2,50), l'Europe (2,53 contre 2,00) mais pas pour l'Océanie (2,27 contre 2,29) et l'Afrique (1,79 contre 1,81). La moyenne du secteur le plus propre entre les régions présente quelques variations, l'Asie et l'Afrique affichant les valeurs les plus élevées (0,71 et 0,44 kg/€, respectivement). L'examen des émissions moyennes des secteurs les plus polluants révèle des écarts plus importants. Les cinq principaux émetteurs d'Afrique affichent une moyenne de 7,21 kg/€, toutes les autres régions affichant des moyennes comprises entre 1,6 et 2,7 kg/€.

Le tableau B1 (en annexe) présente les secteurs les plus propres et les plus sales pour les cinq plus grandes économies africaines (Algérie, Égypte, Maroc, Nigeria et Afrique du Sud). La part de la production d'un seul secteur est maintenant beaucoup plus importante par rapport au tableau 5, atteignant, par exemple, 16,3 % pour "Administration publique et défense", l'un des secteurs les moins polluants au Nigeria. Les secteurs présentent également une plus grande variabilité, moins de secteurs apparaissant plus d'une fois dans le classement. La "construction" et l'"immobilier" apparaissent respectivement comme les secteurs les plus polluants et les plus propres dans tous les pays sauf en Afrique du Sud. Les secteurs les plus sales sont plus en amont (voir la définition de OU amont dans l'équation 5a) que les secteurs propres pour l'Égypte, le Nigeria et l'Algérie, mais pas pour le Maroc et l'Afrique du Sud.

**Illustration 3 :** Sur la période 1995-2015, les parts intra-régionales des émissions ont diminué de 7, 10 et 2 points de pourcentage pour atteindre 84 %, 75 % et 88 % pour l'Afrique, l'Europe et l'Asie, respectivement. La part de l'Afrique dans les émissions provenant d'Asie est passée de 4 % à 11 %. La part de l'Europe dans les émissions provenant d'Afrique et d'Asie est passée de 2 % et 8 % à 4 % et 16 %, respectivement.

**Illustration 4 :** La corrélation de rang de Spearman des émissions entre les régions sur 163 secteurs est élevée, autour de 0,7. Près de la moitié des cinq secteurs les plus propres et les plus polluants sont les mêmes d'une région à l'autre, mais il existe des différences marquées dans les classements pour certains des secteurs les plus polluants. En général, les secteurs les plus polluants se situent plus en amont.



## 5. Émissions de CO2e le long des chaînes d'approvisionnement

Les chaînes d'approvisionnement sont principalement analysées en termes de mesures de positionnement le long des chaînes d'approvisionnement en termes de production qui mesurent la distance des industries vendant leur production à d'autres secteurs ou aux consommateurs finaux. Une image complète de l'ensemble du processus de production nécessite également des mesures des chaînes de demande d'intrants des entreprises, c'est-à-dire de la distance à laquelle les industries se trouvent des facteurs de production primaires. La distinction entre ce que Miller et Termushoev (2017) appellent OU (pour " Production en amont ") et ID (pour " Intrants en aval ") est importante car, pour un même producteur dans une industrie, la structure des ventes de produits est différente de celle des achats d'intrants. Nous présentons brièvement les mesures OU et ID et leur relation avant de les comparer entre les régions et les pays pour voir où en sont les pays africains dans les chaînes d'approvisionnement.

### Mesures de la participation aux CVM

Nous utilisons deux mesures, à savoir en amont (Antràs & Chor, 2019) qui mesure la distance entre le secteur étudié et la demande finale, et en aval (Miller & Termushoev, 2017) qui mesure la distance par rapport aux intrants primaires.

Pour saisir la position moyenne de chaque pays-industrie dans la chaîne de production mondiale, il faut tenir compte de la mesure dans laquelle chaque paire pays-industrie de la chaîne est vendue directement aux consommateurs ou à d'autres industries dans d'autres pays. Antràs et Chor (2019) Equation 5, définissent la mesure de l'amont (en amont)  $OU_i^r$ :

$$OU_i^r = \mathbf{1} \frac{F_i^r}{Y_i^r} + \mathbf{2} \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C a_{ic}^{rs} F_c^s}{Y_i^r} + \mathbf{3} \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^S \sum_{d=1}^C a_{ic}^{rs} a_{id}^{st} F_d^t}{Y_i^r} + \dots \quad (5a)$$

Où:  $Y_i^r$  est la production brute du secteur  $r$  dans le pays  $i$ ;  $F_i^r$  est le flux de consommation finale du secteur  $r$  dans le pays  $i$ ;  $a_{ij}^{rs}$  est le montant monétaire de la production du secteur  $r$  du pays  $i$  nécessaire pour produire un dollar de la production de l'industrie  $r$  dans le secteur  $s$  du pays  $j$ ;  $C$  est le nombre de pays (183 dans RMRIO) ; et  $S$  le nombre total de secteurs (163).

Si, de façon plausible, les matrices intrants-extrants sont viables (c'est-à-dire qu'elles remplissent les conditions de Hawkins-Simon (1949) selon lesquelles la somme des demandes intermédiaires d'un secteur ne dépasse pas sa production brute), et que la colonne superposée de la production brute satisfait aux conditions suivantes  $Y = [I - A]^{-1}F$ , alors l'amont pour le secteur  $r$  dans le pays  $i$  est donné sous forme de matrice par:

$$OU = [I - A]^{-1}Y \quad (5b)$$

Chaque terme de (5a) évalue la part de la production totale de  $Y$  qui atteint la demande finale  $F$  à chaque étape de la chaîne, pondérée par la position dans la chaîne. La valeur la plus faible  $OU_i^r$  peut prendre est de 1 lorsque  $Y_i^r = F_i^r$  (c'est-à-dire lorsque toute la production atteint la demande finale). Plus la valeur de  $OU_i^r$ , plus le secteur  $r$  du pays  $i$  est en amont. Notez qu'une valeur élevée de  $OU_i^r$  peut signifier deux choses : (a) une part importante de la production brute est constituée d'intermédiaires, (b) la chaîne de valeur est plus complexe.

L'aval, proposé par Miller et Termushoev (2017), capte le positionnement des processus de production dans l'ensemble de la chaîne de production entre les pays. Comme ci-dessus pour l'amont, pour capturer l'aval moyen du secteur  $r$  dans le pays  $i$ , il faut mesurer la distance qui sépare le secteur des intrants primaires en tenant compte de l'hétérogénéité de la chaîne d'approvisionnement. La mesure correspondante est :

$$ID_i^r = \mathbf{1} \frac{VA_i^r}{Y_i^r} + \mathbf{2} \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C b_{ic}^{rs} VA_c^s}{Y_i^r} + \mathbf{3} \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^S \sum_{d=1}^C b_{ic}^{rs} b_{id}^{st} VA_d^t}{Y_i^r} + \dots \quad (6a)$$

Où  $VA_i^r$  est la valeur ajoutée de l'industrie  $r$  dans le pays  $i$ ;  $b_{ij}^{rs}$  est le montant monétaire de la production du secteur  $r$  du pays  $i$  nécessaire pour produire un dollar de la production de l'industrie  $r$  dans le pays  $j$ . Comme pour l'indicateur d'amont, le numérateur de l'ID peut être exprimé sous forme de matrice par la formule suivante  $[I - B]^{-2}F$  where  $[I - B]^{-1}$  est l'inverse de Ghosh (1958). Miller et Termushoev (2017) montrent que la mesure ID peut également être dérivée de la matrice de Leontief elle-même à l'aide de la formule suivante <sup>18</sup> :

$$ID' = i' L \quad (6b)$$

où  $i$  est un vecteur colonne de uns.

Miller et Termushoev (2017) montrent qu'en prenant la moyenne pondérée par la production brute des deux mesures de l'ID et de l'OU - ce qui revient à réduire l'économie mondiale à un seul système pays-secteur - on obtient les mêmes chiffres de positionnement moyen agrégé.<sup>19</sup> Toutefois, pour une paire pays-secteur donnée,  $U$  et  $D$  ne sont pas nécessairement égaux en raison des effets de composition entre les pays.

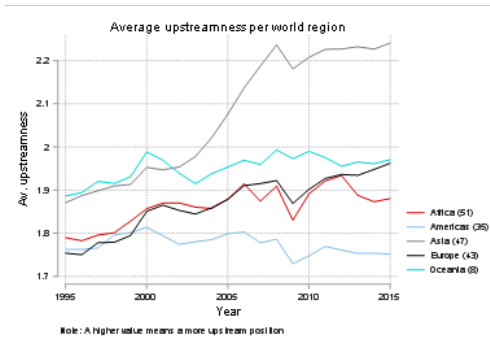
Ensemble, OU et ID saisissent une partie des caractéristiques importantes d'une chaîne de valeur. Le ratio OU/ID donne une indication sur la position du secteur dans la chaîne de valeur. Une valeur supérieure à 1 indique une position plus en amont, et inversement. En somme, des valeurs croissantes de OU et ID sont compatibles avec l'expansion du commerce de la chaîne d'approvisionnement.

## Positionnement de la chaîne de valeur

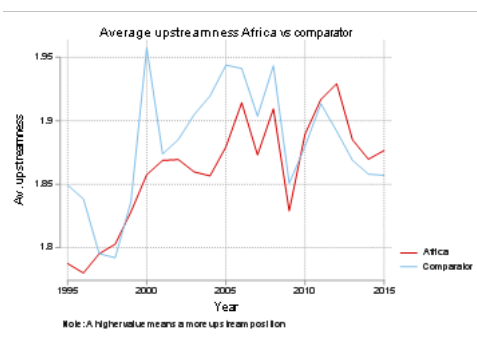
La figure 7(a) montre l'évolution dans le temps de l'indicateur de l'amont (OU) décrit ci-dessus pour toutes les régions. Toutes, à l'exception des Amériques, affichent une augmentation de l'amont entre 1995 et 2015. L'ampleur de cette augmentation est toutefois très hétérogène. L'Asie connaît la plus forte augmentation, passant d'une valeur inférieure à 1,9 à la plus forte valeur en amont de toutes les régions, légèrement supérieure à 2,2. L'augmentation de l'Afrique est plus modeste, passant de 1,8 à environ 1,9.

**Figure 7 : Evolution de l'amont (OU/ID) dans le temps**

### Toutes les régions



### (b) Afrique vis-à-vis du comparateur synthétique



Notes : Une valeur inférieure à (supérieure à) 1 pour OU/ID indique une position plus en aval (amont).

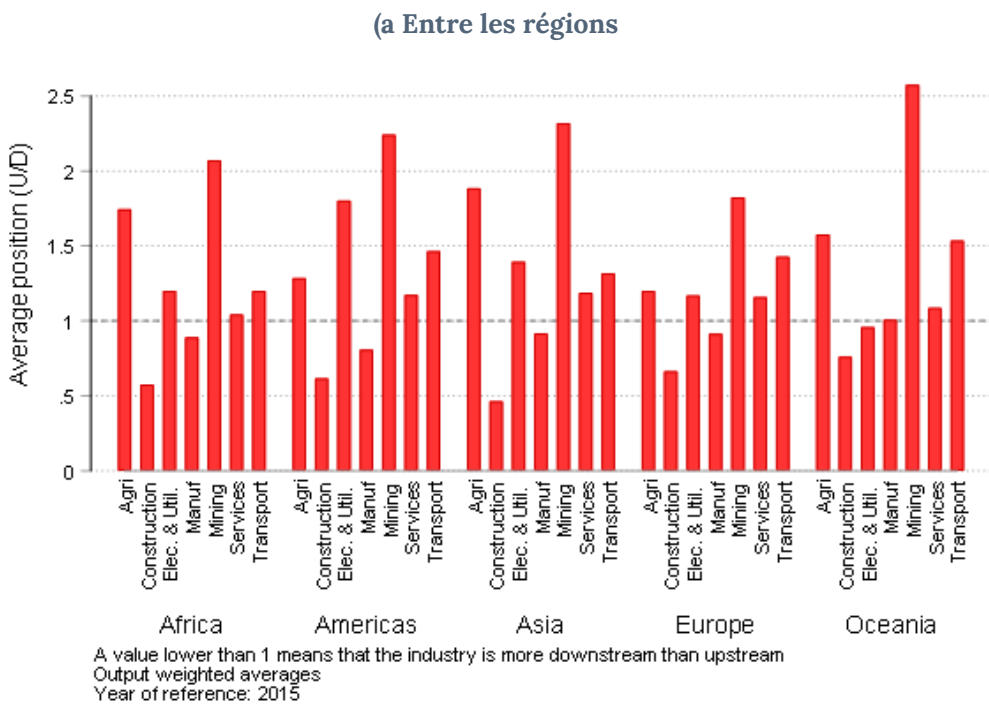
Source : Estimations des auteurs.

L'évolution dans le temps de l'indicateur ID (voir figure B2 en annexe) présente un schéma similaire à celui de l'OU dans la figure 7(a), indiquant une corrélation positive entre OU et ID. L'Asie enregistre également la plus forte augmentation de l'indicateur ID entre 1995 et 2015, avec une ampleur similaire à celle observée pour OU dans la figure 12. Comme pour l'OU, les Amériques sont la seule région à connaître un déclin de l'ID. Cette tendance (voir, par exemple, Antràs & Chor, 2019), Miller & Termushoev, 2017) provient du fait que OU et ID capturent d'autres caractéristiques de la chaîne de valeur que la position (longueur et complexité, par exemple). En prenant le ratio des deux indicateurs, OU/ID donne une estimation plus précise d'un secteur de la chaîne d'approvisionnement. Une valeur inférieure (supérieure) à 1 pour OU/ID indique une position plus en aval (amont).

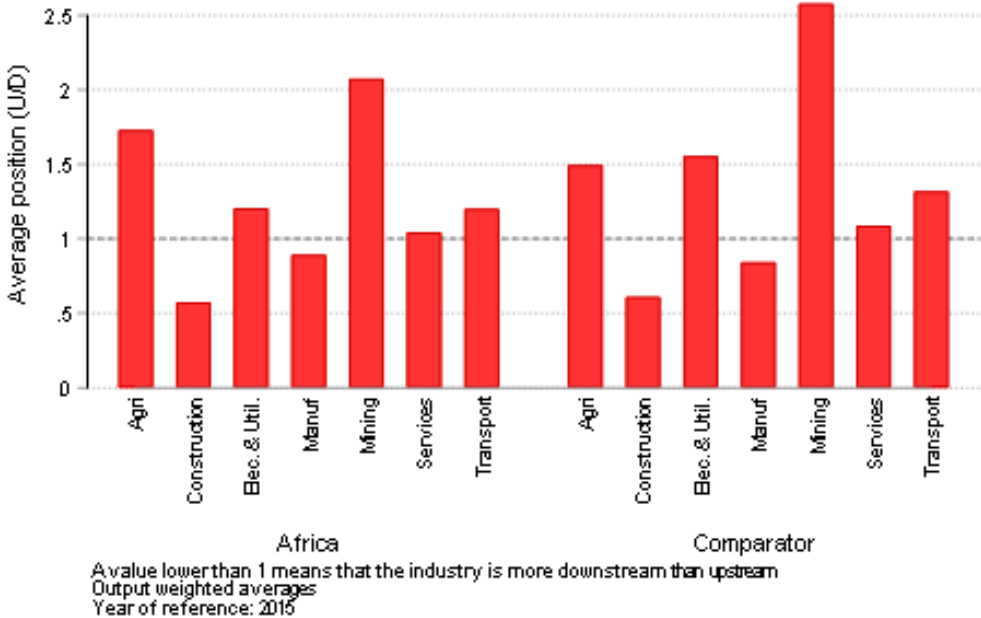
La figure 7(b), qui compare l'Afrique avec le comparateur synthétique, montre que le comparateur correspond à nouveau plus étroitement à l'Afrique qu'à tout autre agrégat de la figure 7(a). Cela suggère une fois de plus que les écarts interrégionaux mis en évidence par la figure 7(a) sont principalement dus à certaines caractéristiques particulières des économies africaines.

La figure 8(a) montre les ratios OU/ID pour sept secteurs largement agrégés tels que définis dans EXIOBASE. Les similitudes entre les régions sont fortes, avec des classements quasi identiques. L'exploitation minière est le secteur le plus en amont pour toutes les régions, suivi par l'agriculture, l'électricité et les services publics, les services et les transports. Les deux secteurs restants, l'industrie manufacturière et la construction, sont en aval pour toutes les régions. La figure 8(b) montre la même comparaison entre le comparateur et l'Afrique. Comme pour les comparaisons interrégionales, les deux graphiques présentent des schémas similaires.

**Figure 8 : Position des secteurs dans les chaînes d'approvisionnement régionales**



(b) Afrique et comparateur synthétique



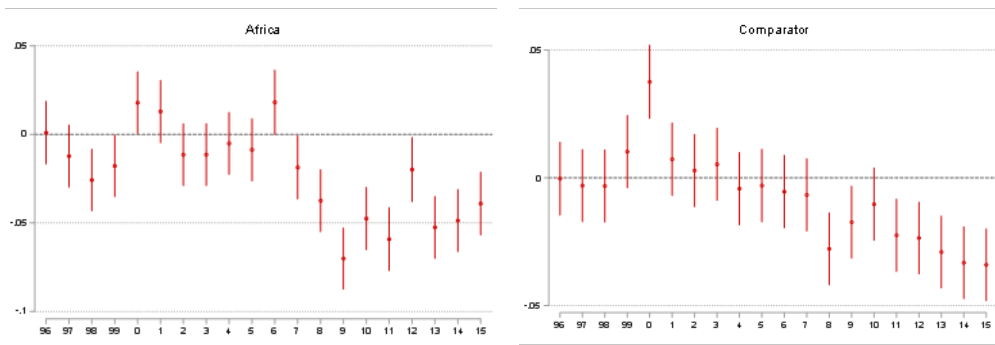
Source : Calculs des auteurs à partir des données RMRIO.

La régression de l'indicateur OU/ID sur une tendance temporelle donne une estimation de l'évolution de l'indicateur

$$\left(\frac{OU}{ID}\right)_{ist} = \alpha + \gamma_t + \mu_{ist} \tag{7}$$

Où : *i* est le pays de l'indice, *s* est le secteur, et *t* est l'année.  $\gamma_t$  est un effet fixe de temps. L'équation 7 est estimée pour toutes les régions et les sept secteurs présentés dans la figure 8. La figure 9 présente l'évolution de l'effet temporel fixe pour l'Afrique et le groupe de comparaison. L'année 1995 sert de référence et chaque coefficient doit donc être interprété comme un écart par rapport au niveau de base de 1995. Les intervalles de confiance à quatre-vingt-dix pour cent sont représentés sur le graphique.

Pour l'Afrique, nous constatons tout d'abord que la position moyenne ne change pas de manière significative avant 2008, à l'exception de faibles écarts entre 1998 et 2000. L'année 2008 voit les secteurs se déplacer vers l'aval d'une grande valeur (l'OU/ID moyen en Afrique en 2008 est d'environ 1), puis augmenter lentement à partir de 2010.<sup>20</sup> Les groupes de comparaison affichent une tendance générale similaire, bien que plus lisse, mais différent sur quelques points. Tout d'abord, l'augmentation observée en 2000 est beaucoup plus importante que pour l'Afrique ; ensuite, la diminution depuis 2008 est moindre et ne présente pas la reprise que l'Afrique a connue à la fin de la période d'échantillonnage.<sup>21</sup>

**Figure 9 : Evolution de l'amont**

Note : La figure est un graphique de l'effet fixe du temps  $\gamma_t$  dans l'équation 7.

Source : Estimations des auteurs.

**Illustration 5 :** L'aval augmente avec le temps. L'amont (OU) de la consommation finale et l'aval (ID) des facteurs primaires sont nécessaires conjointement pour indiquer la position d'un secteur dans une chaîne d'approvisionnement. Au niveau de l'agrégation de sept secteurs, l'exploitation minière est le secteur le plus en amont dans toutes les régions, suivi de l'agriculture ; l'électricité et les services publics, les services et les transports sont les grands secteurs en amont dans toutes les régions. L'industrie manufacturière et la construction sont les secteurs en aval dans toutes les régions.

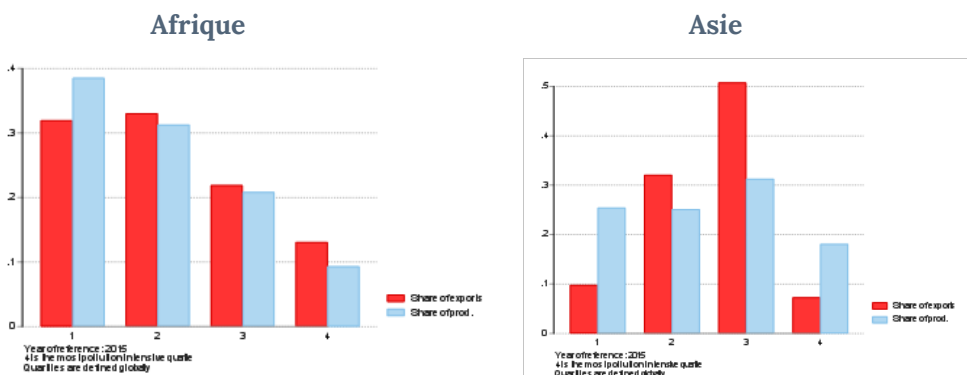
## 6. Corrélats de l'intensité des émissions et du positionnement des CVM

La composition des régions est très hétérogène. Pour explorer les tendances entre les régions (et entre les secteurs agrégés au sein des régions), nous corrélons les émissions avec les parts d'exportation et les indicateurs de participation aux chaînes d'approvisionnement, en commençant par l'intensité des émissions des exportations entre les régions.

### Intensité des émissions des paniers d'exportation

La figure 10 montre la répartition de la production et des exportations pour l'Afrique et l'Asie en 2015, les deux régions présentant les intensités en CO<sub>2</sub>e les plus élevées dans la figure 2, tant pour 1995 que pour 2015. La figure 10 montre les quartiles (environ 40 secteurs par quartile) classés par intensités en CO<sub>2</sub>e croissantes. Pour l'Afrique, les deux distributions sont orientées à gauche à ce niveau de désagrégation relativement élevé (163 secteurs), ce qui indique que les exportations et la production sont concentrées. Pour l'Asie, environ la moitié des exportations se situent dans le troisième quartile des intensités d'émission, tandis que pour l'Afrique, environ 60% des exportations se situent dans les deux quartiles les plus bas. La part des exportations à forte intensité de CO<sub>2</sub> dans le quartile de production à forte intensité d'émissions est beaucoup plus faible en Asie qu'en Afrique.

**Figure 10 : Intensité des émissions de CO<sub>2</sub>e des exportations et de la production : Afrique et Asie (Par quartile des intensités d'émissions totales)**



Source : Estimations de l'auteur.

L'équation 8 établit une corrélation entre l'intensité des émissions directes et la part des exportations pour le monde, et séparément pour chaque région :

$$\ln CO2e_{i,j} = \gamma_k + \beta \log(XS_{i,j}) + \epsilon_{ij}; \quad k = 1, \dots, 5; \quad i = 1, \dots, 183, j = 1, \dots, 163 \quad (8)$$

Où :  $i$  indexe le pays ;  $j$  les secteurs ; et  $\gamma_k$  est une variable muette pour chaque région. Le tableau 6 présente les résultats pour le monde, et séparément pour chaque région.

**Tableau 6 : Intensité des émissions directes de CO2e des exportations, 2015**

	Log (Em. directe) Intensité					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Monde	Afrique	Asie	Amériques	Europe	Océanie
Log(part d'exportation)	-0.0815*** (0.00842)	0.0722*** (0.0268)	-0.0851*** (0.0158)	-0.152*** (0.0137)	-0.0980*** (0.0161)	-0.157*** (0.0320)
Constante	-2.950*** (0.0562)	-1.887*** (0.167)	-2.707*** (0.108)	-3.566*** (0.0962)	-3.219*** (0.117)	-3.972*** (0.207)
R2	0.132	0.0732	0.142	0.246	0.134	0.0779
FE	Pays	Pays	Pays	Pays	Pays	Pays
Obs.	22644	5918	6187	5362	4249	928

Notes : Section transversale pour l'année : 2015. Les erreurs types robustes sont entre parenthèses. \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$

Source : Estimations des auteurs.

Le tableau 6 confirme les schémas de la figure 10 où les exportations sont concentrées dans le quartile de production le plus polluant. L'Afrique est la seule région où la part des exportations et l'intensité des émissions directes de CO2e sont associées de manière positive et significative : une augmentation de la part des exportations de 1 % est associée à une augmentation des émissions directes de 7,2 %. Pour les autres régions, la corrélation entre les parts d'exportation et la croissance des émissions est négative, ce qui montre que les exportations ne sont pas concentrées dans les secteurs à forte intensité de pollution, en partie parce qu'elles externalisent les activités à forte intensité de pollution. Ces schémas sont cohérents avec le fait que l'Afrique est la région la plus en amont car elle exporte principalement des produits intermédiaires qui subissent une transformation supplémentaire dans les pays destinataires. Ils sont également cohérents avec le fait que les pays à revenu élevé externalisent les activités les plus polluantes des chaînes d'approvisionnement vers les pays à faible revenu.



## Intensité des émissions au sein des chaînes de valeur mondiales

Pour étudier le lien entre les émissions de CO2e et la participation aux CVM, nous corrélons les intensités d'émission avec le PIB par habitant, la position des secteurs et nous estimons le modèle suivant :

$$\log(Em\_int_{ist}) = \alpha + \beta \log(GVC\_pos_{ist}) + \delta GDP\_pc_{it} + \gamma_i + \gamma_t + \mu_{ist} \quad (9)$$

Où :  $s$  indexe les secteurs,  $i$  les pays,  $t$  les années, et  $Em\_int_{ist}$  est l'intensité des émissions directes. L'intensité des émissions directes est préférée à l'intensité des émissions totales car, par construction, les émissions totales sont influencées positivement par la participation aux chaînes de valeur mondiales.  $GDP\_pc_{it}$  est le PIB par habitant du pays  $i$  à l'année  $t$ .  $GVC\_pos_{ist}$  est une mesure de la position de la CVM.  $\gamma_i$  et  $\gamma_t$  sont des effets fixes de pays et de temps, respectivement.

Le tableau 7 présente les résultats. Les colonnes (1) -(3) présentent ceux des économies africaines uniquement, tandis que les colonnes (4) -(6) présentent les résultats pour le reste du monde (hors Afrique). L'ajustement est plus fort pour les estimations du RdM, notamment avec le coefficient négatif significatif attendu pour le PIB par habitant. Dans la mesure où le revenu par habitant est une approximation des politiques environnementales réduisant les émissions de CO2, le coefficient non significatif du PIB par habitant pour l'Afrique suggérerait que l'Afrique ne s'est pas encore engagée dans des politiques environnementales. De manière peut-être plus plausible, cela pourrait être dû à l'ensemble des effets fixes (pays et année) saisissant l'influence du PIBpc. L'estimation du modèle sans les effets fixes donne le coefficient négatif et significatif attendu du PIB par habitant sans modifier de manière significative l'ampleur et la significativité de notre mesure de la position, du moins pour l'Afrique.<sup>22</sup>

A ce niveau d'agrégation, le OU (amont) (colonne 1 et colonne 4) est associé à des intensités d'émission plus élevées à la fois pour l'Afrique et le RdM, bien que plus fortement pour l'Afrique (une fois encore peut-être une indication des différences dans la rigueur des politiques environnementales). En définissant le OU comme dans ce document, Copeland et al. (2021) estiment également que les industries plus en amont sont plus polluantes.<sup>23</sup> Nous signalons également que la corrélation ID (aval) (colonne 2 et colonne 5) va dans la même direction, bien que l'ampleur soit plus faible que pour OU. La corrélation positive entre OU et ID est bien établie dans des échantillons plus petits (voir section 4, Antràs & Chor 2019 Miller & Timurshoev, 2012). Il n'est donc pas surprenant, mais réconfortant, d'observer une corrélation similaire pour les deux mesures dans cet échantillon plus large.

Pour démêler l'effet de l'OU et de l'ID, nous utilisons à nouveau l'indicateur de "position" (OU/ID) introduit ci-dessus. Les résultats de la colonne (3) et de la colonne (6) montrent un signe négatif et statistiquement significatif, suggérant que le fait d'être 1% plus en amont sur l'indicateur de position diminue l'intensité des émissions

de CO<sub>2</sub>e d'environ 0,22% pour l'Afrique (0,32% pour le RdM). Ceci est cohérent avec les schémas mis en évidence précédemment, qui montrent que : (a) l'intensité des émissions de CO<sub>2</sub>e diminue avec le temps, et (b) ces dernières années, l'Afrique a eu tendance à se déplacer plus en amont.<sup>24</sup>

**Tableau 7 : Intensité des émissions de CO<sub>2</sub>e et position dans la chaîne mondiale de valeur : Afrique et RdM**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Afrique			RdM		
	Log(CO <sub>2</sub> e)	Log(CO <sub>2</sub> e)	Log(CO <sub>2</sub> e)	Log(CO <sub>2</sub> e)	Log(CO <sub>2</sub> e)	Log(CO <sub>2</sub> e)
Log(en amont.)	1.541*** (0.0266)			1.265*** (0.0147)		
Log(en aval.)		0.973*** (0.0192)			1.078*** (0.0104)	
Log(OU/ID)			-0.220*** (0.0154)			-0.316*** (0.00901)
Log(GDPpc)	0.0670 (0.0768)	0.0674 (0.0767)	-0.00257 (0.0774)	-0.521*** (0.0361)	-0.522*** (0.0357)	-0.570*** (0.0363)
Constante	10.02*** (0.548)	10.21*** (0.548)	11.41*** (0.552)	15.70*** (0.326)	15.80*** (0.323)	17.01*** (0.328)
Observations	113845	113861	113845	319072	319099	319072
FE	Pays, année	Pays, année	Pays, année	Pays, année	Pays, année	Pays, année
R <sup>2</sup> ajusté	0.083	0.082	0.064	0.165	0.175	0.150

Notes : Émissions directes de CO<sub>2</sub>e. Les erreurs types robustes sont entre parenthèses. \* p < 0.1, \*\* p < 0.05, \*\*\* p < 0.01  
Source : Estimations des auteurs.

Les résultats du tableau 7 sont muets sur l'hétérogénéité susceptible d'apparaître dans les grands groupes sectoriels. Le tableau 8 présente les résultats pour l'Afrique et le RdM pour les sept secteurs en utilisant le OU/ID comme indicateur de la position dans la chaîne de valeur. Comme prévu, l'ajustement est beaucoup plus fort pour les estimations au niveau sectoriel du tableau 8. Pour l'Afrique, le coefficient du PIBpc a maintenant le signe négatif attendu, sauf pour les produits manufacturés, où il n'est pas significatif, et pour les services, où il est positif.

Comme pour les estimations au niveau national, les émissions de CO<sub>2</sub>e sont négativement corrélées avec l'OU/ID, pour tous les grands secteurs, à l'exception de l'industrie manufacturière. Pour l'industrie manufacturière, le fait d'être plus en amont de 1% est associé à des émissions plus élevées de 0,476 %. Pour les autres secteurs, la relation est négative et plus importante pour l'agriculture et la construction, et plus faible pour l'exploitation minière.

**Tableau 8 : Impact de la position de la CVM sur l'intensité des émissions de CO2e : Afrique**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Agri.	Cons- truction.	Électricité et services d'utilité publique	Fabri- cation	Exploita- tion minière	Services	Transport
	Log (CO2e)	log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)
Log(OU/ID)	-1.880*** (0.0288)	-1.740*** (0.0890)	-0.303** (0.130)	0.476*** (0.0293)	-0.510*** (0.0536)	-1.403*** (0.0355)	-1.390*** (0.0213)
Log(GDPpc)	-0.201* (0.121)	-0.229** (0.0929)	-0.799** (0.342)	-0.174 (0.109)	-0.326** (0.159)	0.540*** (0.179)	-0.562*** (0.101)
Constante	15.59*** (0.853)	12.63*** (0.677)	18.18*** (2.482)	12.49*** (0.785)	13.94*** (1.144)	6.171*** (1.294)	16.83*** (0.725)
Observations	12329	917	7082	41665	10518	29920	5049
FE	Pays, secteur	Pays, secteur	Pays, secteur	Pays, secteur	Pays, secteur	Pays, secteur r	Pays, secteur
R2 ajusté	0.461	0.969	0.074	0.169	0.468	0.122	0.657

Notes : La figure présente les émissions directes de CO2e. Les erreurs types robustes sont entre parenthèses. \* p < 0.1, \*\* p < 0.05, \*\*\* p < 0.01

Source : Estimations des auteurs.

Les tendances sont similaires pour le groupe de comparaison : L'intensité des émissions de CO2e diminue avec une position plus en amont pour tous les grands secteurs sauf l'industrie manufacturière. Les résultats sont présentés dans le tableau B2 (en annexe). Au sens large, l'Afrique n'est pas différente du reste du monde, même si l'ampleur des coefficients diffère entre l'Afrique et le reste du monde. L'agriculture, la construction, les produits manufacturés et les services présentent une élasticité plus importante en termes absolus en Afrique que dans le reste du monde, tandis que l'électricité et les services publics, les mines et les transports présentent un effet plus important dans le reste du monde. L'effet est particulièrement marqué pour l'électricité et les services publics, avec un coefficient de -0,341 en Afrique et de -2,438 dans le reste du monde. Cela pourrait être dû à un manque de disponibilité de sources d'énergie propres.

**Illustration 6 :** Le panier d'exportation de l'Afrique est orienté vers des produits à forte intensité d'émissions de CO2. Les intensités d'émissions de CO2 sont positivement corrélées avec l'amont (OU) et l'aval (ID). L'indicateur OU/ID de la position dans une chaîne d'approvisionnement est négativement corrélé avec les intensités d'émissions de CO2e au sein des régions. Une augmentation de 1% de l'amont est associée à une diminution de l'intensité des émissions de CO2e d'environ 0,22% pour l'Afrique et 0,31% pour le reste du monde. Une meilleure adéquation est obtenue au sein des secteurs dans chaque région. Pour les industries manufacturières, le fait d'être plus en amont de 1% est associé à une intensité d'émissions plus élevée de 0,61%. Pour les autres secteurs, la relation est négative et plus importante pour l'agriculture et la construction.

## 7. Conclusions

La participation de l'Afrique au commerce de la chaîne d'approvisionnement a été limitée, principalement dans les activités en amont. Les exportations africaines contiennent peu d'importations et ses exportations subissent pour la plupart une transformation supplémentaire dans les pays de destination avant d'atteindre la consommation finale. Pourtant, l'équivalent carbone (CO<sub>2</sub>e) de son empreinte, bien que suivant la tendance mondiale à la baisse sur la période 1995-2015, reste le plus élevé au monde. Par ailleurs, sa part des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>e est la plus faible.

Documenter l'évolution de ces émissions est un défi, notamment parce qu'il est difficile de retracer l'origine (nationale ou étrangère) dans des pays où les informations sont rares et suffisamment granulaires dans les chaînes de production. Le présent ouvrage exploite un ensemble de données d'intrants-extrants multirégionaux (RMRIO) récemment préparé, qui couvre les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 189 pays ventilés en 163 secteurs pour la période 1995-2015 (Cabernard & Pfister, 2021). Cet ensemble de données (RMRIO) est le plus complet à notre disposition. Pour des raisons discutées dans le document, nous soutenons que les avantages de sa couverture étendue l'emportent sur ses défauts, ce qui nous permet de définir un paysage informatif de l'évolution des émissions en Afrique sur la période 1995-2015 à travers 49 pays africains qui sont comparés à ceux d'autres régions. Les points saillants, dont certains sont une mise à jour plus détaillée des tendances déjà identifiées dans la littérature, sont les suivants.

L'intensité moyenne en carbone de la production a augmenté dans toute l'Afrique tant sur la période 1995-2005 que sur la période 2005-2015, mais beaucoup moins au cours de la deuxième décennie. L'Afrique ne se décarbonise pas encore. Pour plus de la moitié des pays africains (12), la structure de la production s'est déplacée vers des secteurs polluants. La contribution de l'effet technique à la réduction de la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> a été plus importante que la contribution de l'effet de composition pour 17 pays. La corrélation de classement de Spearman de 0,7 pour les émissions sectorielles entre les régions est prometteuse pour les efforts de décarbonisation au niveau des secteurs désagrégés. Près de la moitié des secteurs les plus propres et les plus polluants sont les mêmes d'une région à l'autre, mais il existe de fortes différences de classement pour certains des secteurs les plus polluants. En général, les secteurs les plus polluants se situent plus en amont. Le

panier d'exportation de l'Afrique est orienté vers des produits à forte intensité de CO<sub>2</sub>e.

Dans toutes les régions, la part intra régionale des émissions a diminué entre la première et la deuxième décennie documentée. En particulier, la part de l'Afrique dans les émissions provenant d'Asie est passée de 4 % à 11 %. La part de l'Europe dans les émissions provenant d'Afrique a doublé pour atteindre 4 %, tandis que celle provenant d'Asie a quadruplé pour atteindre 16 %. Ces changements montrent clairement que les pays à haut revenu externalisent de plus en plus la pollution.

Les mesures de la production en amont (OU) de la consommation finale et de la production en aval (ID) des facteurs primaires ont augmenté, ce qui indique que les chaînes de production mondiales sont devenues plus rondes, la part de la valeur ajoutée dans la production brute étant passée de 3 % en 1995 à 4 % en 2015. Au niveau de l'agrégation de 7 secteurs, l'exploitation minière est le secteur le plus en amont pour toutes les régions, un défi pour de nombreux pays africains. L'exploitation minière est suivie par l'agriculture ; l'électricité et les services publics, les services et les transports sont les grands secteurs en amont dans toutes les régions. Les industries manufacturières et la construction sont les secteurs en aval dans toutes les régions. Pour les industries manufacturières, le fait d'être plus en amont de 1% est associé à une intensité d'émissions plus élevée de 0,61%. Pour les autres secteurs, la relation est négative et plus importante pour l'agriculture et la construction.

## Remarques

1. À 13 %, la part de la valeur ajoutée importée de l'ASS dans les exportations brutes (la part en amont de la participation aux CVM) était inférieure à la moitié de la moyenne mondiale, la plus faible parmi les régions en 2015. Melo et Solleder (2022 : tableau 1). La participation aux chaînes de valeur mondiales est également faible pour les pays en développement autres que ceux de l'Afrique subsaharienne.
2. Les différents types de polluants sont fortement corrélés. Copeland et al. (2021) signalent que les corrélations par paires entre huit polluants de la base de données mondiale des intrants et des extrants (WIOD) sont positives et statistiquement significatives pour 13 des 28 combinaisons par paires. Cela justifie de se concentrer sur un agrégat de CO2 dans ce document.
3. Copeland et al. (2021) passent également en revue la littérature sur les émissions supplémentaires de CO2 associées au commerce international. Ils concluent que les différentes approches permettent d'estimer à environ 5% les émissions supplémentaires dues au commerce international.
4. Une version avec une désagrégation sectorielle plus large est disponible mais la couverture sectorielle varie selon les pays.
5. Les émissions en équivalent CO2 sont disponibles pour 49 de ces 54 pays, voir le tableau A1 (en annexe) pour une liste complète.
6. Avec 193 pays et 163 secteurs, il existe un potentiel de  $Zijrs = (163 \cdot 193)^2 \approx 109$  achats d'intrants à travers les paires pays-industrie. Environ 22% des lignes au niveau du secteur ont 0 émission totale, ce qui reflète que certains produits ne sont pas produits dans certains pays.
7. En se basant sur les simulations de Montecarlo qui montrent que les erreurs sur les petits flux ne remettent pas en cause les estimations des multiplicateurs, ce qui justifie l'utilisation de toutes les informations disponibles, et sur l'observation que les tableaux MRIO sont dominés par des éléments de 10 000 dollars ou moins, ils affirment que la méthodologie permet d'obtenir une précision "holistique". La précision holistique résulte de l'observation selon laquelle un grand nombre de petits éléments dans un tableau IO peuvent être supprimés avant que les multiplicateurs ne montrent un changement significatif (Jensen, 1980). Les éléments peu fiables dans les tableaux MRIO

résultent des choix effectués pour gérer l'interaction entre les conflits de données qui créent des "tensions" et le manque d'informations qui créent des "poubelles".

8. Lenzen et al. (2015) discutent de la philosophie du projet EORA : développer " une méthode pour la construction et la mise à jour rapides, opportunes et en même temps à faible intensité de travail et de temps des tables MRIO à haute résolution en se concentrant sur la normalisation, l'automatisation et le calcul avancé ". Selon Lenzen et al., les choix de construction ont mis l'accent sur la représentation de grandes quantités de données et sur le respect des conditions d'équilibrage pour les grands pays.
9. Trois secteurs du RMRIO n'enregistrent aucune émission directe pour aucun pays ; il s'agit de : " Organisations et organismes extraterritoriaux ", " Traitement du fumier (biogaz), stockage et utilisation des terres ", et " Traitement du fumier (conventionnel), stockage et utilisation des terres ". Bien que notre méthodologie basée sur les intrants - Extrants puisse être en mesure d'identifier les émissions indirectes pour ces secteurs, nous les écartons car, dans tous les cas, elles ne fournissent au mieux qu'une image partielle des émissions liées à ces secteurs.
10. En moyenne, les émissions de CO<sub>2</sub>e par habitant sont trois fois plus élevées dans les zones urbaines que dans les zones rurales.
11. L'identité IPAT décompose l'impact de l'activité humaine sur les dommages environnementaux. Elle stipule que l'impact est égal à la population \* l'abondance \* la technologie. Appliquée aux émissions de CO<sub>2</sub>, celles-ci se décomposent en PIB\*(intensité énergétique du PIB) \*(intensité carbonique de l'énergie). Dans la version ici :  $CO = P * (Y/P) * (E/Y) * (C/E) = Y(E_v)(C_E)$
12. Comme l'ont souligné Copeland et al. Une fois que le combustible fossile est brûlé, il n'existe pas de technologies viables de contrôle de la pollution en bout de chaîne (comme les épurateurs) ; l'effet technique représente donc un transfert vers des énergies plus propres ou une croissance de la productivité des facteurs.
13. L'effet d'échelle élevé pour l'Océanie est dominé par l'Australie, un pays à forte intensité de charbon.
14. Les estimations de gravité des industries propres par rapport aux industries sales pour un large échantillon de pays en développement sur la période 1980-1999 rapportées par Grether et de Melo (2004) ont montré que l'ampleur du coefficient de distance sur les flux commerciaux était environ trois fois plus élevée pour les industries sales que pour les industries propres, ce qui suggère que les théories de l'avantage comparatif peuvent avoir peu d'impact sur la localisation des industries sales, et donc contribuer aux faibles effets de composition présentés par Copeland et al.
15. Les évolutions correspondantes pour l'ensemble de l'Afrique, tous les pays se sont orientés vers des activités plus intensives en CO<sub>2</sub> et l'effet technique a contribué davantage que l'effet de composition à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>e.

16. Voir les comparaisons des indices de CVM de différents MRIO dans Kowalski et al. (2015)).
17. Cependant, certains secteurs présentent de grandes différences d'intensité d'émission entre les régions (par exemple, le secteur de l'aviculture a une intensité d'émission totale de 1,12 kg/€ de CO<sub>2</sub>e en Afrique, alors qu'elle n'est que de 0,4 kg/€ de CO<sub>2</sub>e dans d'autres régions).
18. On peut également dériver OU de l'inverse G de Ghosh de manière similaire avec la formule  $OU=Gi$ . Voir Miller et Termushoev (2017) équations 5-9 pour plus de détails.
19. Nous avons vérifié que les deux valeurs moyennes pondérées de U et D donnent le même positionnement dans notre ensemble de données.
20. Régression d'une tendance temporelle de la forme:  $\left(\frac{OU}{ID}\right)_{ist} = \alpha + \beta t + \mu_{ist}$  de 2009 en Afrique donne un coefficient  $\beta$  de 0,0040, significatif à un niveau de confiance de 99%.l.
21. La même régression que dans la note de bas de page 19 pour le groupe de comparaison donne un  $\beta$  de -0,0036 significatif à un niveau de confiance de 99%.
22. Results are in the appendix.
23. Ce résultat est présenté comme le fait stylisé n°3 dans Copeland et al. (2021).
24. L'Afrique s'est déplacée plus en amont à partir de 2009. L'estimation du modèle en excluant les années antérieures à 2009 donne un coefficient plus important pour U/D en terme absolu (-0.342 au lieu de -0.220).



## Références

- Antràs, P. and D. Chor. 2019. "On the measurement of upstreamness and downstreamness in global value chains". In L. Yang and M. Yu, eds., *World Trade: Growth, Productivity and Employment*, pp. 126–95. London: Routledge.
- Asia Development Bank (ADB). 2021. *Sustaining Global Value Chains*. Mandaluyong, Philippines: Asia Development Bank.
- Ayompe, L., S. Davis and B.N. Ego. 2021. "Trends and drivers of African fossil fuel CO2 emissions: 1990–2017". *Environmental Research Letters*, 15: 124039.
- Barrett, S., C. Carraro and J. de Melo, eds. 2015. *Towards a Workable and Effective Climate Regime*. London: CEPR Press.
- Bigio, A. 2015. "Towards resilient and low-carbon cities". In Barrett et al] eds. 2015
- Brenton, P. and V. Chemutai. 2021. *The Trade and Climate Change Nexus: The Urgency and Opportunities for Developing Countries*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Cabernard, L. and S. Pfister. 2021. "A Highly resolved MRIO database for analysing environmental footprints and green economy progress". *Science of the Total Environment*, 755(Part 1): 142587
- Copeland, B., J. Shapiro and M.S. Taylor. 2022. "Globalization and the environment", Chapter 2 in Gopinath et al. eds. *Handbook of International Economics*, vol. 5Pp. 61–146
- Crippa, M., G. Diego, M. Marilena, S. Edwin, L.V. Eleonora, S. Efisio, M.-F. Fabio, O. Jos and V. Elisabetta. 2021. EDGAR v6.0 Greenhouse Gas Emissions. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Data set] PID: <http://data.europa.eu/89h/97a67d67-c62e-4826-b873-9d972c4f670b>
- Ferrarini, B. and G.J. de Vries. 2015. *What Accounts for the Growth of Carbon Dioxide Emissions in Advanced and Emerging Economies*. ADB Discussion Paper No. 458. Asia Development Bank, Mandaluyong, Philippines.
- Ghosh, A. (1958) "Input-output Approach in an Allocation System", *Economica*, 25, 58–64.
- Gopinath, G. E. Helpman and K. Rogoff eds (2022) *Handbook of International Economics*, vol.5, North Holland
- Grether, J.M. and J. de Melo. 2004. "Globalization and dirty industries: Do pollution havens matter?" In R. Baldwin and A. Winters, eds., *Challenges to Globalization: The Economics*. University of Chicago Press for the NBER.
- Hainmueller, J. 2012. "Entropy balancing for causal effects: A multivariate reweighting method to produce balanced samples in observational studies". *Political Analysis*, 20(1): 25–46.
- Hainmueller, J. and Y. Xu. 2013. "e-balance: A STATA package for entropy balancing". *Journal of Statistical Software*, 54(7). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1943090>

- Hawkins, D. and H.A. Simon. 1949. "Note: Some conditions of macroeconomic stability". *Econometrica*, 17(3/4): 245–48.
- Ibrahim, M. and S.H. Law. 2016. "Institutional quality and CO2 emission-trade relations: Evidence from sub-Saharan Africa". *South African Journal of Economics*, 84(2). <https://doi.org/10.1111/saje.12095>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 151 pp. Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer, eds. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kowalski, P., J. Gonzalez, A. Ragoussis and C. Ugarte. 2015. "Participation of developing countries in global value chains: Implications for trade and trade-related policies". OECD Trade Policy Papers No. 179. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Lenzen, M., D. Moran, K. Kanemoto and A. Geschke. 2013. "Building EORA: A global multi-regional input-output database at high country and sector resolution". *Economic Systems Research*, 25(1): 20–49. DOI:10.1080/09535314.2013.769938
- Liu, C. And G. Zhao. 2021. "Can global value chain participation affect embodied carbon emission intensity". *Journal of Cleaner Production*, 287: 125069.
- Mattoo, A., N. Rocha and M. Ruta, eds. 2020. *Handbook of Deep Trade Agreements*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Melo J. de and J.-M. Solleder. 2022. "Patterns and Correlates of Supply Chain Trade in MENA and SSA", FERDI WP #304
- Miller, R. and U. Temurshoev. 2017. "Output upstreamness and input downstreamness of industries/countries in world production". *International Regional Science Review*, 40(5): 443–75
- Porter, M. and C. van der Linde. 1995. "Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship". *Journal of Economic Perspectives*, 9(4): 97–118.
- Shapiro, J. 2021. "The environmental bias of trade policy". *Quarterly Journal of Economics*, 136(2): 831–86.
- Stadler, K., R. Wood, T. Bulavskaya, C.-J. Södersten, M. Simas, S. Schmidt, A. Usubiaga, J. Acosta-Fernández, J. Kuenen, M. Bruckner, S. Giljum, S. Lutter, S. Merciai, J.H. Schmidt, M.C. Theurl, C. Plutzar, T. Kastner, N. Eisenmenger, K.-H. A. Koning and A. Tukker. 2021. EXIOBASE 3 (3.8.1) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4588235>
- Steckel, J.C., J. Hilaire, M. Jakob and O. Edenhofer. 2020. "Coal and carbonization in sub-Saharan Africa". *Nature Climate Change*, 10: 83–88.

# Annexes

## Annexe A : Liste des pays dans le RMRIO et dans le comparateur synthétique

Noms et abréviations de la liste des pays pour lesquels des estimations de CO2e sont disponibles.

**Tableau A1 : Économies africaines dans le RMRIO**

Code ISO	Nom	CO2e disponible ?
CMR	Cameroun	Oui
NGA	Nigeria	Oui
UGA	Ouganda	Oui
BFA	Burkina Faso	Oui
NER	Niger	Oui
MRT	Mauritanie	Oui
TGO	Togo	Oui
AGO	Angola	Oui
BDI	Burundi	Oui
DZA	Algérie	Oui
COG	Congo	Oui
ETH	Éthiopie	Oui
BEN	Bénin	Oui
RWA	Rwanda	Oui
EGY	Égypte	Oui
ZWE	Zimbabwe	Oui
MAR	Maroc	Oui
GMB	Gambie	Oui
SOM	Somalie	Oui
CIV	Côte d'Ivoire	Oui
ZMB	Zambie	Oui
ERI	Érythrée	Oui
NAM	Namibie	Oui

*suite page suivante*

**Tableau A1 Continué**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible ?</b>
SWZ	Swaziland	Oui
TCD	Tchad	Oui
LSO	Lesotho	Oui
KEN	Kenya	Oui
TUN	Tunisie	Oui
ZAF	Afrique du Sud	Oui
MLI	Mali	Oui
GAB	Gabon	Oui
TZA	Tanzanie	Oui
MUS	Maurice	Oui
MWI	Malawi	Oui
DJI	Djibouti	Oui
CAF	République Centrafricaine	Oui
BWA	Botswana	Oui
MOZ	Mozambique	Oui
SYC	Seychelles	Oui
CPV	Cap-Vert	Oui
MDG	Madagascar	Oui
GHA	Ghana	Oui
LBR	Liberia	Oui
STP	Sao Tomé et Príncipe	Oui
GIN	Guinée	Oui
SLE	Sierra Leone	Oui
SEN	Sénégal	Oui
COD	République démocratique du Congo	Oui
LBY	Libye	Oui
GNB	Guinée-Bissau	Non
GNQ	Guinée équatoriale	Non
SDN	Soudan	Non
COM	Comores	Non
SSD	Sud-Soudan	Non

**Tableau A2 : Économies américaines dans le RMRIO**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
CRI	Costa Rica	Oui
ANT	Antilles néerlandaises	Oui
PAN	Panama	Oui
TTO	Trinité-et-Tobago	Oui
BHS	Bahamas	Oui
VGB	Îles Vierges britanniques	Oui
SUR	Suriname	Oui
GUY	Guyana	Oui
VEN	Venezuela	Oui
HTI	Haïti	Oui
URY	Uruguay	Oui
ARG	Argentine	Oui
HND	Honduras	Oui
GTM	Guatemala	Oui
JAM	Jamaïque	Oui
PRY	Paraguay	Oui
BOL	Bolivie	Oui
SLV	El Salvador	Oui
PER	Pérou	Oui
CHL	Chili	Oui
CAN	Canada	Oui
NIC	Nicaragua	Oui
BRB	Barbade	Oui
CYM	Îles Caïmans	Oui
ECU	Équateur	Oui
CUB	Cuba	Oui
BLZ	Belize	Oui
BMU	Bermudes	Oui
ABW	Aruba	Oui
USA	Etats-Unis d'Amérique	Oui
BRA	Brésil	Oui
ATG	Antigua et Barbuda	Oui
DOM	République Dominicaine	Oui
COL	Colombie	Oui
MEX	Mexique	Oui
TCA	Îles Turks et Caicos	Non
LCA	Sainte-Lucie	Non

*suite page suivante*

**Tableau A2 Continué**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
DMA	Dominique	Non
CHI	Îles Anglo-Normandes	Non
CUW	Curaçao	Non
MAF	Saint Martin (partie française)	Non
VCT	Saint Vincent et les Grenadines	Non
PRI	Porto Rico	Non
VIR	Vierges américaines (îles)	Non
SXM	Sint Maarten (partie néerlandaise)	Non
GRL	Groenland	Non
KNA	Saint-Kitts-et-Nevis	Non
GRD	Grenade	Non

**Tableau A3 : économies asiatiques dans le RMRIO**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
TJK	Tadjikistan	Oui
OMN	Oman	Oui
ARM	Arménie	Oui
SAU	Arabie Saoudite	Oui
KGZ	République kirghize	Oui
JOR	Jordanie	Oui
SGP	Singapour	Oui
LBN	Liban	Oui
GEO	Géorgie	Oui
CHN	Chine	Oui
PRK	Corée du Nord	Oui
JPN	Japon	Oui
IRQ	Irak	Oui
BTN	Bhoutan	Oui
LAO	Laos	Oui
KHM	Cambodge	Oui
ISR	Israël	Oui
BRN	Brunei	Oui
MYS	Malaisie	Oui
UZB	Ouzbékistan	Oui
QAT	Qatar	Oui

*suite page suivante*

**Tableau A3 Continué**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
IRN	Iran	Oui
KWT	Koweït	Oui
MMR	Myanmar	Oui
TWN	Taiwan	Oui
LKA	Sri Lanka	Oui
AZE	Azerbaïdjan	Oui
MAC	Macao	Oui
ARE	Emirats Arabes Unis	Oui
TUR	Turquie	Oui
MNG	Mongolie	Oui
BHR	Bahreïn	Oui
VNM	Vietnam	Oui
NPL	Népal	Oui
IND	Inde	Oui
BGD	Bangladesh	Oui
MDV	Maldives	Oui
AFG	Afghanistan	Oui
SYR	Syrie	Oui
HKG	Hong Kong	Oui
PAK	Pakistan	Oui
CYP	Chypre	Oui
PHL	Philippines	Oui
THA	Thaïlande	Oui
KOR	Corée du Sud	Oui
IDN	Indonésie	Oui
TKM	Turkménistan	Oui
YEM	Yémen	Oui
KAZ	Kazakhstan	Oui
TLS	Timor	Non
PSE	Palestine	Non

**Tableau A4 : Économies européennes dans le RMRIO**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
ALB	Albanie	Oui
LUX	France	Oui
FIN	Finlande	Oui
LTU	Lituanie	Oui
PRT	France	Oui
BEL	Belgique	Oui
SRB	Yougoslavie	Oui
DNK	Danemark	Oui
SVK	République slovaque	Oui
BIH	Bosnie et Herzégovine	Oui
DEU	Allemagne	Oui
CHE	Suisse	Oui
LIE	Liechtenstein	Oui
IRL	Irlande	Oui
ESP	Espagne	Oui
GRC	Grèce	Oui
SMR	Saint-Marin	Oui
NLD	Pays-Bas	Oui
FRA	France	Oui
LVA	Lettonie	Oui
CZE	République Tchèque	Oui
ROU	Roumanie	Oui
MDA	Moldavie	Oui
NOR	Norvège	Oui
MCO	Monaco	Oui
SVN	Slovénie	Oui
UKR	Ukraine	Oui
ITA	Italie	Oui
GBR	Royaume-Uni	Oui
EST	Estonie	Oui
AUT	Autriche	Oui
HUN	Hongrie	Oui
SWE	Suède	Oui
MKD	Macédoine	Oui
MLT	Malte	Oui
MNE	Monténégro	Oui
RUS	Russie	Oui

*suite page suivante*



**Tableau A4 Continué**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
HRV	Croatie	Oui
BGR	Bulgarie	Oui
BLR	Bélarus	Oui
POL	Pologne	Oui
ISL	Islande	Oui
GIB	Gibraltar	Non
XKX	Kosovo	Non
FRO	Îles Féroé	Non
AND	Andorre	Non
IMN	Île de Man	Non

**Tableau A5 : Économies océaniques dans le RMRIO**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>CO2e disponible?</b>
AUS	Australie	Oui
NCL	Nouvelle-Calédonie	Oui
NZL	Nouvelle-Zélande	Oui
VUT	Vanuatu	Oui
PYF	Polynésie française	Oui
WSM	Samoa	Oui
PNG	Papouasie-Nouvelle-Guinée	Oui
FJI	Fidji	Oui
PLW	Palau	Non
NRU	Nauru	Non
SLB	Salomon (îles)	Non
TUV	Tuvalu	Non
ASM	Samoa américaine	Non
FSM	Micronésie	Non
TON	Tonga	Non
MHL	Îles Marshall	Non
GUM	Guam	Non
MNP	Mariannes du Nord (îles)	Non
KIR	Kiribati	Non

**Tableau A6 : Pays inclus dans le groupe comparateur**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>Région</b>	<b>Poids dans le groupe comparateur</b>
IRQ	Irak	Asie	0.128
YEM	Yémen	Asie	0.0794
BOL	Bolivie	Amériques	0.0793
BGD	Bangladesh	Asie	0.0714
FJI	Fidji	Océanie	0.0608
KHM	Cambodge	Asie	0.0420
PER	Pérou	Amériques	0.0406
PAK	Pakistan	Asie	0.0397
PHL	Philippines	Asie	0.0371
VNM	Vietnam	Asie	0.0300
LKA	Sri Lanka	Asie	0.0295
MMR	Myanmar	Asie	0.0235
AFG	Afghanistan	Asie	0.0209
PRY	Paraguay	Amériques	0.0201
PNG	Papouasie-Nouvelle-Guinée	Océanie	0.0197
LAO	Laos	Asie	0.0179
WSM	Samoa	Océanie	0.0177
CUB	Cuba	Amériques	0.0173
BRA	Brésil	Amériques	0.0166
ARM	Arménie	Asie	0.0165
VUT	Vanuatu	Océanie	0.0147
SYR	Syrie	Asie	0.0145
DOM	République Dominicaine	Amériques	0.0138
CHL	Chili	Amériques	0.0108
JOR	Jordanie	Asie	0.0107
NPL	Népal	Asie	0.01000
GEO	Géorgie	Asie	0.00979
AZE	Azerbaïdjan	Asie	0.00879
ECU	Équateur	Amériques	0.00808
KGZ	République kirghize	Asie	0.00729
ARG	Argentine	Amériques	0.00710
MDV	Maldives	Asie	0.00701
TKM	Turkménistan	Asie	0.00575
IRN	Iran	Asie	0.00567
COL	Colombie	Amériques	0.00561
NIC	Nicaragua	Amériques	0.00556

*suite page suivante*

**Tableau A6 Continué**

<b>Code ISO</b>	<b>Nom</b>	<b>Région</b>	<b>Poids dans le groupe comparateur</b>
IDN	Indonésie	Asie	0.00503
GTM	Guatemala	Amériques	0.00462
LBN	Liban	Asie	0.00417
JAM	Jamaïque	Amériques	0.00412
KAZ	Kazakhstan	Asie	0.00372
BTN	Bhoutan	Asie	0.00366
MNG	Mongolie	Asie	0.00350
IND	Inde	Asie	0.00243
THA	Thaïlande	Asie	0.00219
SLV	El Salvador	Amériques	0.00187
HND	Honduras	Amériques	0.00153
SAU	Arabie Saoudite	Asie	0.00141
SUR	Suriname	Amériques	0.00139
BLZ	Belize	Amériques	0.00138
VEN	Venezuela	Amériques	0.00129
PAN	Panama	Amériques	0.00116
URY	Uruguay	Amériques	0.000742
MEX	Mexique	Amériques	0.000715
OMN	Oman	Asie	0.000550
MYS	Malaisie	Asie	0.000492
CYP	Chypre	Asie	0.000442
CRI	Costa Rica	Amériques	0.000189
PYF	Polynésie française	Océanie	0.000189
TUR	Turquie	Asie	0.000162
CHN	Chine	Asie	6.14e-05
BHR	Bahreïn	Asie	4.62e-05
BRB	Barbade	Amériques	3.59e-05
ATG	Antigua et Barbuda	Amériques	2.94e-05
TTO	Trinité-et-Tobago	Amériques	2.93e-05
BHS	Bahamas	Amériques	2.72e-05
NCL	Nouvelle-Calédonie	Océanie	1.97e-06
NZL	Nouvelle-Zélande	Océanie	1.29e-06
JPN	Japon	Asie	1.02e-06
BRN	Brunei	Asie	4.02e-07
ABW	Aruba	Amériques	2.98e-07
QAT	Qatar	Asie	2.27e-07

*suite page suivante*



Figure B2 : Aval par région par rapport au comparateur

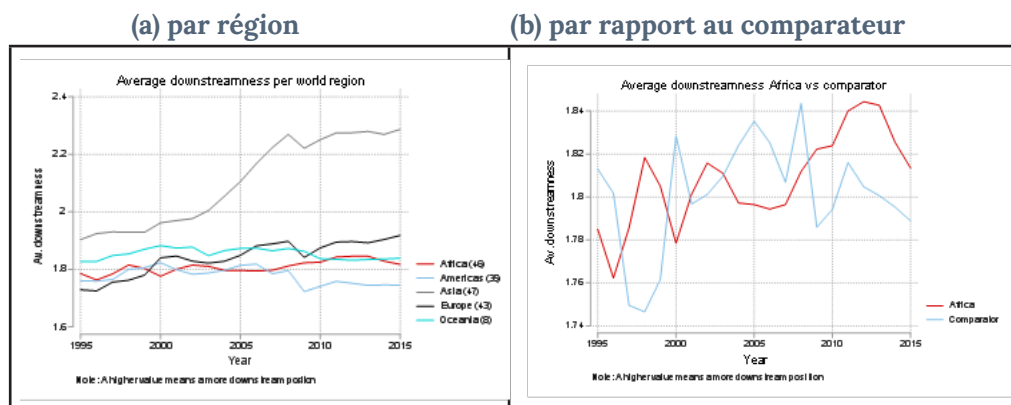


Tableau B1 : Secteurs les moins et les plus polluants dans les cinq plus grands pays émetteurs africains

Secteur	Total CO2e int.	Direct CO2e int.	Part du Direct	Part de la production	En amont.
<b>Algérie</b>					
Autres activités commerciales	0.119	0.0117	0.0979	0.0272	1.877
Activités immobilières	0.124	0.0122	0.0984	0.0320	1.038
Postes et télécommunications	0.134	0.0108	0.0804	0.0255	1.922
Transports maritimes et côtiers	0.163	0.0945	0.580	0.0412	1.211
Vente de véhicules	0.181	0.0860	0.475	0.0151	1.930
Raffinerie de pétrole	0.477	0.236	0.495	0.0429	2.838
Construction	0.841	0.0992	0.118	0.127	1.078
Fabrication de véhicules	0.879	0.00628	0.00714	0.0123	1.026
Extraction de minerais de cuivre	1.823	1.422	0.780	0.0345	1.928
Extraction de pétrole	4.380	3.546	0.810	0.0305	2.903
<b>Égypte</b>					
Fabrication de bois	0.0962	0.00173	0.0180	0.0197	1.936
Activités immobilières	0.173	0.0198	0.114	0.0679	1.087
Extraction de minerais de cuivre	0.202	0.0703	0.348	0.0361	2.176
Extraction de sable	0.250	0.191	0.763	0.0307	1.999
Assurances et pensions	0.292	0.137	0.469	0.0139	1.106
Commerce de gros	1.212	1.081	0.891	0.0333	2.285
Transformation des aliments	1.219	0.00217	0.00178	0.0113	1.264
Construction	1.495	0.659	0.441	0.0793	1.107
Raffinerie de pétrole	1.547	1.080	0.698	0.0199	2.071
Produits chimiques	2.359	1.390	0.589	0.0110	1.988

suite page suivante

**Tableau B1 Continué**

<b>Secteur</b>	<b>Total CO2e int.</b>	<b>Direct CO2e int.</b>	<b>Part du Direct</b>	<b>Part de la production</b>	<b>En amont.</b>
<b>Maroc</b>					
Extraction de minerais de cuivre	0.0624	0.0161	0.258	0.0763	2.003
Postes et télécommunications	0.155	0.0146	0.0940	0.0242	1.923
Activités immobilières	0.169	0.0198	0.117	0.0340	1.037
Culture du blé	0.176	0.124	0.705	0.0164	2.717
Autres activités commerciales	0.190	0.0241	0.127	0.0227	1.984
Produits chimiques	0.428	0.00110	0.00256	0.0103	2.464
Fabrication de machines	0.491	0.00164	0.00334	0.0189	1.354
Construction	0.622	0.0699	0.112	0.126	1.181
Raffinerie de pétrole	0.702	0.351	0.500	0.0193	2.686
Administration publique et défense	0.718	0.130	0.181	0.0477	1.004
<b>Nigeria</b>					
Activités immobilières	0.0612	0.00233	0.0381	0.0598	1.015
Administration publique et défense	0.108	0.00124	0.0115	0.163	1.001
Postes et télécommunications	0.131	0.0379	0.288	0.0237	1.516
Organisation d'activités	0.136	0.00540	0.0397	0.0133	1.002
Intermédiation financière	0.136	0.0149	0.109	0.0126	1.223
Construction	0.853	0.0483	0.0566	0.0604	1.039
Extraction de minerais de cuivre	1.624	1.330	0.819	0.0300	1.547
Hôtels et restaurants	1.697	0.127	0.0747	0.0345	1.203
Animaux de boucherie	3.185	1.852	0.581	0.0114	1.929
Extraction de pétrole	4.560	4.310	0.945	0.0250	3.067
<b>Afrique du Sud</b>					
Intermédiation financière	0.0537	0.0144	0.268	0.0358	2.351
Activités auxiliaires de l'intermédiation financière	0.0564	0.00493	0.0874	0.0168	5.907
Assurances et pensions	0.0679	0.0324	0.478	0.0193	1.361
Extraction de métaux précieux	0.0906	0.0801	0.884	0.0471	3.133
Soutien aux transports	0.101	0.0291	0.290	0.0102	2.819
Culture de légumes	2.396	0.346	0.144	0.0120	1.437
Fabrication de fer et d'acier de base	2.609	2.310	0.886	0.0162	2.709
Transformation des aliments	3.002	0.00573	0.00191	0.0197	1.415
Fabrication de caoutchouc/ plastique	5.366	1.112	0.207	0.0105	2.389
Produits chimiques	6.442	0.218	0.0339	0.0209	1.992

**Tableau B2 : Impact de la position de la CVM sur l'intensité des émissions de CO2e : Comparateur**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Agri.	Construction	Électricité et services d'utilité publique	Fabrication	Mines	Services	Transport
	Log (CO2e)	log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)	Log (CO2e)
Log(U/D)	-1.253*** (0.0206)	-0.693*** (0.205)	-1.813*** (0.0844)	0.177*** (0.0150)	-1.711*** (0.0650)	-0.361*** (0.0227)	-1.667*** (0.0440)
Log(GDPpc)	-0.206** (0.0867)	-0.441*** (0.0703)	-0.710*** (0.181)	-0.515*** (0.0572)	-1.082*** (0.116)	-0.517*** (0.0800)	-0.609*** (0.0851)
Constante	15.60*** (0.738)	15.89*** (0.633)	19.58*** (1.589)	16.35*** (0.501)	22.87*** (1.023)	14.87*** (0.702)	19.24*** (0.744)
Observations	20857	1723	14745	76898	17777	58723	9865
FE	Pays, Secteur	Pays, Secteur	Pays, Secteur	Pays, Secteur	Pays, Secteur	Pays, Secteur	Pays, Secteur
R2 ajusté	0.282	0.887	0.283	0.256	0.368	0.211	0.460

Notes : Le tableau présente les émissions directes de CO2e. Les erreurs types robustes sont entre parenthèses. \* p < 0.1, \*\* p < 0.05, \*\*\* p < 0.01



## Mission

Renforcer les capacités des chercheurs locaux pour qu'ils soient en mesure de mener des recherches indépendantes et rigoureuses sur les problèmes auxquels est confrontée la gestion des économies d'Afrique subsaharienne. Cette mission repose sur deux prémisses fondamentales.

Le développement est plus susceptible de se produire quand il y a une gestion saine et soutenue de l'économie.

Une telle gestion est plus susceptible de se réaliser lorsqu'il existe une équipe active d'économistes experts basés sur place pour mener des recherches pertinentes pour les politiques.

[www.aercafrica.org/fr](http://www.aercafrica.org/fr)

### Pour en savoir plus :



[www.facebook.com/aercafrica](https://www.facebook.com/aercafrica)



[www.instagram.com/aercafrica\\_official/](https://www.instagram.com/aercafrica_official/)



[twitter.com/aercafrica](https://twitter.com/aercafrica)



[www.linkedin.com/school/aercafrica/](https://www.linkedin.com/school/aercafrica/)

Contactez-nous :

Consortium pour la Recherche Économique en Afrique

African Economic Research Consortium

Consortium pour la Recherche Économique en Afrique

Middle East Bank Towers,

3rd Floor, Jakaya Kikwete Road

Nairobi 00200, Kenya

Tel: +254 (0) 20 273 4150

[communications@aercafrica.org](mailto:communications@aercafrica.org)