

Valeurs carbone implicites des contributions nationales et trajectoires 2°C

Laureline Coindoz, Patrick Criqui, Sandrine Mathy, Silvana Mima

▶ **To cite this version:**

Laureline Coindoz, Patrick Criqui, Sandrine Mathy, Silvana Mima. Valeurs carbone implicites des contributions nationales et trajectoires 2°C. 2017. hal-01496223

HAL Id: hal-01496223
https://hal.science/hal-01496223

Preprint submitted on 27 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Working paper GAEL n° 02/2017

GAEL
Grenoble Applied Economic Laboratory
*Consommation – **Énergie** – Innovation*

Valeurs carbone implicites des contributions nationales et trajectoires 2°C

Coindoz, Laureline
Criqui, Patrick
Mathy, Sandrine
Mima, Silvana

27 mars 2017

JEL : Q47 ; Q54

https://gael.univ-grenoble-alpes.fr/accueil-gael
contact : agnes.vertier@inra.fr

Valeurs carbone implicites des contributions nationales et trajectoires 2°C

Mars 2017

Préparé par Laureline Coindoz (Univ. Grenoble Alpes, CNRS, GAEL), Patrick Criqui (Univ. Grenoble Alpes, CNRS, GAEL), Sandrine Mathy (Univ. Grenoble Alpes, CNRS, GAEL), Silvana Mima (Univ. Grenoble Alpes, CNRS, GAEL)

Résumé : Ce document de travail analyse le degré d'effort nécessaire à l'atteinte des objectifs INDC des 13 pays du *Deep Decarbonization Pathway Project*. L'objectif est d'évaluer et de comparer les degrés d'effort requis pour atteindre les objectifs INDC, entre les pays, d'une part et, d'autre part, au regard de trajectoires de plus long terme (2050) s'inscrivant dans l'objectif global de limiter la hausse des températures en deçà de 2°C. Une méthodologie est mise en place pour transcrire les INDC en niveaux d'émissions de CO2 nettes du LULUCF. Le modèle POLES est ensuite utilisé pour révéler la valeur carbone implicite des INDC et permettre une comparabilité des objectifs nationaux entre eux. Enfin, la création d'un scénario *INDCext* permet d'appréhender les INDC au regard d'objectifs nationaux de plus long terme (2050) compatibles avec l'objectif global de limiter la hausse des températures en deçà de 2°C.

JEL : Q47 – Q 54

Groupe Interdisciplinaire sur les Contributions Nationales

Ce document de travail s'inscrit dans une série de notes et d'analyses réalisées par un groupe d'experts constitué pour analyser les questions scientifiques soulevées par les contributions nationales (INDC). Ce groupe de travail, dénommé le Groupe Interdisciplinaire sur les Contributions Nationales (GICN), se compose des scientifiques suivants :

- Hervé Le Treut (IPSL, UPMC) : coordinateur
- Olivier Boucher (LMD, IPSL, CNRS) : co-coordinateur
- Patrick Criqui (GAEL, CNRS, UGA)
- Hélène Benveniste (IPSL) : secrétaire scientifique
- Valentin Bellassen (INRA, Dijon)
- François-Marie Bréon (LSCE, IPSL, CEA)
- Laetitia Chevallet (GAEL, UGA)
- Philippe Ciais (LSCE, IPSL, CEA)
- Laureline Coindoz (GAEL, CNRS, UGA)
- Thomas Gasser (CIRED)
- Céline Guivarch (CIRED, ENPC)
- Franck Lecocq (CIRED, Agro Paristech)
- Sandrine Mathy (GAEL, CNRS, UGA)
- Emmanuel Prados (INRIA, UGA, CNRS-LJK)
- David Salas (Météo-France)
- Roland Séférian (Météo-France)

Le GICN a bénéficié du soutien financier de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et tient à adresser ses remerciements.

Table des matières

Introduction 4

1 Comment assurer la comparabilité des INDC 5

1.1 Méthodologie de transcription des INDC en CO2 6
1.1.1 Quantification des objectifs en « tout gaz » 6
1.1.2 Hypothèses sur les émissions de LULUCF et passage en émissions de GES nettes du LULUCF 14
1.1.3 Transcription des objectifs en émissions de CO2 nettes du LULUCF 21
1.1.4 Cas particulier de la Chine : d'un objectif en intensité carbone à un objectif en CO2 23

1.2 Résultats et discussion 24

2 Evaluation de la valeur carbone implicite aux INDC à l'appui du modèle POLES 26

2.1 Méthodologie pour évaluer les valeurs carbone implicites aux INDC 26
2.1.1 Présentation générale du modèle POLES 26
2.1.2 Première approche de la valeur carbone implicite aux INDC 26
2.1.3 Hypothèses de croissance du PIB 28

2.2 Résultats 28
2.2.1 Pays pour lesquels l'introduction d'une valeur carbone permet l'atteinte des objectifs INDC 29
2.2.2 Pays pour lesquels les objectifs ne sont pas atteints, y compris dans le scénario *BaU* 31

2.3 Pays pour lesquels la valeur carbone implicite de l'INDC est nulle 32
2.3.1. Comparaison des hypothèses de PIB pour la modélisation avec POLES et des hypothèses de PIB mer dans les scénarios DDPP. 33
2.3.2. Focus sur la consommation et les indicateurs d'activités sectoriel 34

2.4 Conclusion 35

3 Des INDC aux objectifs de long-terme 37

3.1 Création du scénario INDCext 37

3.2 Résultats 39

3.3 Conclusion 44

Introduction

Cette étude vise à analyser le degré d'effort spécifique à chacune des INDC proposées par les 13 pays (ou région pour l'UE) les plus émetteurs de GES en en évaluant la valeur carbone implicite, ainsi que la compatibilité des INDC avec des objectifs de plus long terme à l'horizon 2050. Pour cela, nous poursuivons une démarche en trois temps:

1. Tout d'abord, nous ramenons chacune des INDC dont les formulations, périmètres, horizons diffèrent entre pays, en une unité commune qui est l'objectif d'émissions de CO2 énergétique en 2030.

2. Ensuite, nous développons une méthodologie avec le modèle POLES pour évaluer la valeur mondiale du carbone à laquelle chacun de ces objectifs nationaux en niveau d'émissions de CO2 énergétique en 2030 correspond en faisant l'hypothèse d'une trajectoire linéaire du prix du carbone entre 2015 et 2030.

3. Nous construisons un scénario INDCext global avec POLES intégrant chacune des valeurs nationales et implicites du carbone en 2030 et prolongeant les tendances linéaires de trajectoires de prix de 2030 jusqu'en 2050 de manière à comparer la poursuite de l'effort correspondant aux INDC à des objectifs nationaux de long terme (les niveaux d'émissions du projet DDPP sont considérés) en ligne avec un objectif de réchauffement de 2°C.

Cette démarche nous permet ainsi d'évaluer et comparer entre pays l'effort spécifique à chaque INDC et d'évaluer la compatibilité à long terme de l'effort spécifique à chaque INDC avec des trajectoires s'inscrivant dans une perspective de 2°C.

1 Comment assurer la comparabilité des INDC

Les formulations des objectifs des différents pays sont très variées. Certains pays mentionnent des objectifs de réduction des émissions par rapport à une année historique, d'autres proposent des réductions de l'intensité carbone ; certains considèrent les émissions du LULUCF, d'autres les excluent; certains prennent en compte les GES, d'autres uniquement le CO2 ; etc.

Afin de permettre la comparabilité des INDC entre eux, il a alors fallu traduire les objectifs en une expression commune : les émissions de CO2 nettes du LULUCF.

Tableau 1 - Synthèse des objectifs INDC des pays DDPP

Pays	Objectifs					Gaz		Prise en compte du LULUCF
	Types d'objectifs	Indicateurs	Année de référence	Année cible	Réduction	CO2	Equivalent CO2	
UE 28	Absolu	Emissions	1990	2030	-40%		X	X
Etats-Unis	Absolu	Emissions	2005	2025	-26% à -28%		X	X
Chine	Relatif, basé sur le PIB	Intensité carbone du PIB	2005	2030	-60% à -65%	X		O
Inde	Relatif, basé sur le PIB	Intensité GES du PIB	2005	2030	-33% à -35%		X	X
Australie	Absolu	Emissions	2005	2030	-26% à -28%		X	X
Brésil	Absolu	Emissions	2005	2025	-37% (-43%)		X	X
Canada	Absolu	Emissions	2005	2030	-30%		X	X
Corée du Sud	Relatif à un scénario *BaU*	Emissions	2030 (*BaU= 850,6 MtCO2e)*	2030	-37%		X	X
Indonésie	Relatif à un scénario *BaU*	Emissions	2030 (*BaU= 2 881 MtCO2e)*	2030	-29% (-41%)		X	X
Japon	Absolu	Emissions	2013 (2005)	2030	-26% (-25%)		X	X
Mexique	Relatif à un scénario *BaU*	Emissions	2030 (*BaU*= 973 MtCO2e)	2030	-22% (-36%)		X	X
Russie	Absolu	Emissions	1990	2030	-25% à -30%		X	X
Afrique du Sud	Relatif à un scénario *BaU*	Emissions	2030 (objectifs quantifiés)	2025 et 2030	N.D. (objectifs d'émissions quantifiés entre 398 et 614 MtCO2eq entre 2025 et 2030)		X	X

La première étape a donc été de quantifier les émissions de CO2 induites par les objectifs INDC (1.1.), ce qui a ainsi permis de comparer les objectifs entre eux (1.2.).

Aussi, il apparaît important de préciser que cet exercice de quantification des INDC s'est concentré sur les pays DDPP[1] car leurs seules émissions agrégées de CO2 énergétique représentent 74% des émissions de CO2 mondiales.

1.1 Méthodologie de transcription des INDC en CO2

La méthodologie de transcription des INDC en émissions de CO2 a été différente selon les pays. Il est toutefois possible d'identifier une structure globale de la méthodologie utilisée. Celle-ci peut se décomposer en 3 grandes étapes :

1. Il a tout d'abord fallu estimer les émissions de GES induites par les INDC (1.1.1.),
2. La deuxième étape a été de quantifier les émissions de LULUCF pour l'année cible de l'INDC pour pouvoir ensuite les soustraire aux émissions de GES et proposer une estimation des émissions de GES nettes du LULUCF (1.1.2.),
3. Enfin, il a fallu transcrire les émissions de GES en émissions de CO2 à l'aide d'un facteur de conversion (1.1.3.).

Ces trois étapes ont structuré la méthodologie utilisée pour quantifier les émissions de CO2 induites par les INDC pour l'ensemble des pays DDPP, excepté pour la Chine dont l'objectif initial est exprimé en termes de réduction de l'intensité CO2 et pour laquelle la méthodologie a été adaptée (1.1.4.).

1.1.1 Quantification des objectifs en « tout gaz »

Ainsi, la première étape a été d'estimer les émissions de GES induites par les INDC. La plupart sont exprimés en « tout gaz », mais la formulation diffère cependant entre les pays et il a fallu trouver une méthodologie de quantification spécifique à chaque type d'objectif.

Certaines contributions font référence à des objectifs de réduction d'émissions par rapport à une année historique (1.1.1.1.), d'autres sont déterminés par rapport à un scénario *BaU* (1.1.1.2.), l'objectif de l'Inde fait office de cas particulier en étant exprimé en réduction de l'intensité des émissions du PIB (1.1.1.3.), et l'Afrique du Sud soumet un objectif d'émissions de GES compris dans une fourchette d'émissions quantifiée et fournie dans l'INDC (1.1.1.4.).

[1] Les pays DDPP sont : la France, l'Italie et le Royaume-Uni (qui ne seront pas étudiés séparément ici, mais en tant qu'UE 28, compte tenu de l'objectif commun de l'Union Européenne), les Etats-Unis, la Chine, l'Inde, le Canada, le Brésil, l'Australie, le Japon, la Russie, la Corée du Nord, l'Indonésie, l'Afrique du Sud et le Mexique. Pour plus d'informations sur le projet DDPP, voir : http://deepdecarbonization.org/ (dernier accès le 10/11/2016).

1.1.1.1 *Méthodologie pour les pays dont l'objectif est exprimé en pourcentage de réduction par rapport à une année historique*

La majorité des pays étudiés ont exprimé leur objectif en termes de pourcentage de réduction des émissions de GES par rapport à une année historique. C'est le cas de l'Union Européenne, des Etats-Unis, de l'Australie, du Brésil, du Canada, du Japon et de la Russie.

Les objectifs diffèrent selon l'année de référence (AR), l'année cible pour l'atteinte des objectifs (AC) et le taux de réduction des émissions (t). Pour arriver à quantifier les émissions de GES induites par ces objectifs, il a donc fallu appliquer les objectifs de réduction aux émissions de GES des années de référence, tel que :

$$\mathrm{GES_{AC}} = \mathrm{GES_{AR}} * (1 - \mathrm{t})$$

Les données historiques d'émissions de GES utilisées dans les calculs sont celles utilisées dans le modèle POLES[2]. Le tableau ci-après reprend les objectifs des INDC et les résultats obtenus en termes d'émissions de GES pour l'année cible.

Tableau 2 - Tableau récapitulatif des objectifs exprimés en réduction absolu par rapport à une année de référence

Parties	Emissions de GES de l'année de référence (AR) en MtCO2e (source : POLES)			Réductions (t) (source : INDC)		Résultats : Emissions de GES de l'année cible (AC) en MtCO2e	
	1990	2005	2013	AR / 2025	AR / 2030	2025	2030
UE 28	5 238	--	--	--	-40%	--	***3 143***
Etats-Unis	--	5 958	--	-26% à -28%	--	***4 290 à 4 409***	--
Australie	--	687	--	--	-26% à -28%	--	***495 à 509***
Brésil	--	2 105	--	-37%	-43%	***1 326***	***1 200***
Canada	--	778		--	-30%	--	***544***
Japon	--	1 242	1 273	--	Respectivement -25,4% et -26%	--	***926 à 942***
Russie	3 396	--	--	--	-25 à 30%	--	***2 378 à 2 547***

[2] EC JRC (2014), Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), v4.2 and v4.2 FT2010. Base de données disponible à l'adresse : http://edgar.jrc.ec.europa.eu/ (dernier accès le 25/10/2016).
UNFCC (2014), Greenhouse Gas Inventory Data, Flexible Queries. Base de données disponible à l'adresse : http://unfccc.int/di/FlexibleQueries.do (dernier accès le 25/10/2016).
FAO (2014). FAOSTAT Emissions Land Use database. Base de données disponible à l'adresse : http://faostat3.fao.org/faostatgateway/go/to/home/E (dernier accès le 25/10/2016).

1.1.1.2 Méthodologie pour les pays dont l'objectif est exprimé par rapport à un scénario *Business-as-Usual*

L'Indonésie, la Corée du Sud et le Mexique mentionnent un objectif de réduction des émissions à 2030 par rapport à un scénario *BaU*. Pour ces trois pays, les émissions du scénario *BaU* pour l'année 2030 sont données dans l'INDC.

Les objectifs d'émissions de GES de l'INDC sont alors calculés comme suit :

$$\mathrm{GES}_{\mathrm{INDC\ 2030}} = \mathrm{GES}_{\mathrm{BaU\ 2030}} * (1 - \mathrm{t})$$

Le tableau ci-dessous apporte les données ayant permis de réaliser le calcul et présente les résultats pour chaque pays.

Tableau 3 - Tableau récapitulatif des objectifs exprimés en réduction relative à un scénario BaU

Parties	Emissions de GES du scénario *BaU* en 2030 en MtCO2e (source : INDC)	Réductions par rapport au BaU (t) (source : INDC)	Résultats : Emissions de GES de l'objectif INDC en 2030 en MtCO2e
Corée du Sud	850	-37%	***536***
Indonésie	2 881	-29% à -41%	***1 700 à 2 046***
Mexique	973	-22% à -36%	***623 à 759***

1.1.1.3 Méthodologie pour transcrire les objectifs exprimés en intensité des émissions de GES : cas particulier de l'Inde

L'Inde a soumis un objectif de réduction de l'intensité GES du PIB pour l'année 2030 par rapport à l'intensité de 2005. Afin d'estimer les émissions de GES résultant de l'INDC, il a donc été nécessaire d'effectuer des hypothèses sur la croissance du PIB indien.

Les projections de croissance utilisées dans cet exercice sont celles de GECO 2016[3], soit un taux de croissance annuel moyen de 6,9% entre 2010 et 2030 et de 4,5% entre 2030 et 2050 (*cf.* encadré ci-dessous). Ces hypothèses de croissance ont été préférées à d'autres car elles reflètent les tendances récentes des économies nationales en intégrant notamment les dernières projections en date du FMI[4].

Ces taux de croissance ont ensuite été appliqués aux données de PIB historiques du CEPII[5] à partir de l'année 2015. La trajectoire de PIB résultant de ces hypothèses est présentée dans l'encadré ci-dessous.

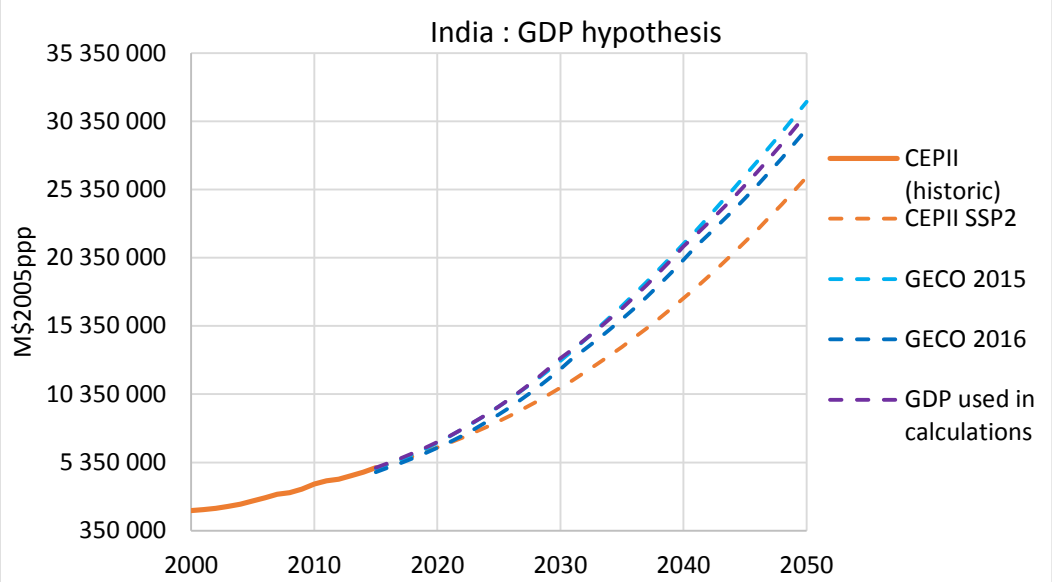
[3] Kitous, A., Keramidas, K., Vandyck, T., Saveyn, B. (2016). GECO 2016. Global Energy and Climate Outlook. Road from Paris. EUR 27952 EN. doi:10.2791/662470

[4] https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/01/weodata/index.aspx (dernier accès le 3/11/2016)

[5] A partir de la version 2.4 de janvier 2016 de l'EconMap du CEPII. Voir aussi : http://www.cepii.fr/CEPII/fr/bdd_modele/presentation.asp?id=11 (dernier accès le 3/11/2016),

Encadré 1 - Hypothèses de trajectoire de PIB de l'Inde

TCAM du PIB de différents scénarios	2000-2010	2010-2030	2030-2050
PIB utilisé ($05ppa)	***7,6%***	***6,5%***	***4,5%***
GECO 15 ($05ppa)	7,5%	6,3%	4,6%
GECO 16 ($05ppa)	7,4%	6,9%	4,5%
CEPII SSP2 ($05ppa)	7,6%	5,4%	4,5%



A partir de ces hypothèses de PIB, l'objectif d'émissions de GES de l'Inde a alors été calculé tel que :

$$GES_{2030} = [\frac{GES_{2005}}{PIB_{2005}} * (1\text{-}t)]*PIB_{2030}$$

Le tableau ci-dessous détaille les données utilisées dans le calcul et les résultats sur l'intensité GES du PIB et les émissions de GES de l'INDC.

Fouré, J., Bénassy-Quéré, A., & Fontagné, L. (2012), The Great Shift: Macroeconomic Projections for the World Economy at the 2050 Horizon, CEPII Working paper 2012-03. Fouré, J., Bénassy-Quéré, A., & Fontagné, L. (2013), Modelling the world economy at the 2050 horizon, Economics of Transition 21 (4), p.p. 617-654.

Tableau 4 - Tableau récapitulatif des objectifs de l'Inde exprimés en réduction de l'intensité GES du PIB

Année de référence (2005)			Réduction de l'intensité des émissions du PIB (t) (source : INDC)	Année cible (2030)		
Emissions de GES en MtCO2e (source : POLES)	PIB en M$ PPA$2005 (source : CEPII)	GES/PIB (tCO2e/M$)		GES/PIB (tCO2e/M$)	PIB (M$ PPA$2005)	Emissions de GES (MtCO2e)
1 895	2 517 881	*753*	-33% à -35%	489 à 504	12 981 472	***6 351** à **6 547***

1.1.1.4 Range d'émissions de GES fourni dans l'INDC : cas particulier de l'Afrique du Sud

La contribution de l'Afrique du Sud mentionne un objectif compris dans un *range* d'émissions entre 2025 et 2030. Pour ce cas précis, aucun calcul n'a été nécessaire. Les objectifs de l'INDC, tels qu'ils sont formulés dans la contribution, ont été reportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 - Tableau récapitulatif des objectifs de l'Afrique du Sud tels que quantifier dans la contribution

Parties	Emissions de GES en 2025 en MtCO2e (source : INDC)	Emissions de GES en 2030 en MtCO2e (source : INDC)
Corée du Sud	[398 ; 614]	[398 ; 614]

1.1.1.5 Comparaison des résultats avec d'autres exercices de prospective

Afin d'assurer la pertinence des résultats obtenus, ces derniers ont été mis en parallèle des scénarios GECO[6] 2015 et 2016[7], et des objectifs d'émissions quantifiés par le GICN avec les hypothèses de croissance du PIB du scénario SSP2 du CEPII.

Le tableau ci-dessous liste les exercices de prospective présentés dans ce paragraphe.

Les rapports GECO proposent chacun un scénario de type *2°C* et un scénario de type *BaU*. Le rapport 2016 introduit également un nouveau scénario dont l'hypothèse est une mise en œuvre des objectifs INDC à 2025 et 2030. Ce scénario considère que tous les INDC sont implémentés et, pour les pays dont les objectifs mènent à des émissions égales ou supérieures au scénario *reference*, il est considéré qu'aucune autre mesure additionnelle n'est mise en place. Pour ces pays en particulier, la différence

[6] Source pour GECO 2015: Labat, A., Kitous, A., Perry, M., Saveyn, B., Vandyck, T., and Vrontisi, Z. (2015). GECO2015. Global Energy and Climate Outlook. Road to Paris. JRC Scientific and Policy Reports, EUR 27239 EN.
Source pour GECO 2016: Kitous, A., Keramidas, K., Vandyck, T., Saveyn, B. (2016). GECO 2016. Global Energy and Climate Outlook. Road from Paris. EUR 27952 EN. doi:10.2791/662470

[7] *Nb.* Les données d'émissions de GES de GECO 2016 ne sont pas détaillées par année, mais sont données par décennie de 1990 à 2050. Les trajectoires d'émissions ont donc été reconstruites avec les données disponibles et à partir de 2010. C'est ce qui explique des différences sur les émissions historiques entre 2010 et 2015 dans les graphiques ci-dessous.

entre le scénario *BaU* et INDC s'effectue après 2030 avec un renforcement des politiques climatiques pour le scénario INDC.

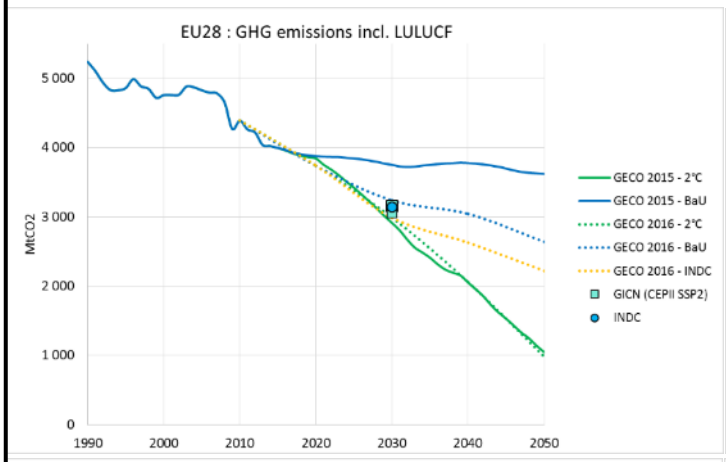
Tableau 6 - Tableau récapitulatif des exercices de prospective présentés dans les graphiques

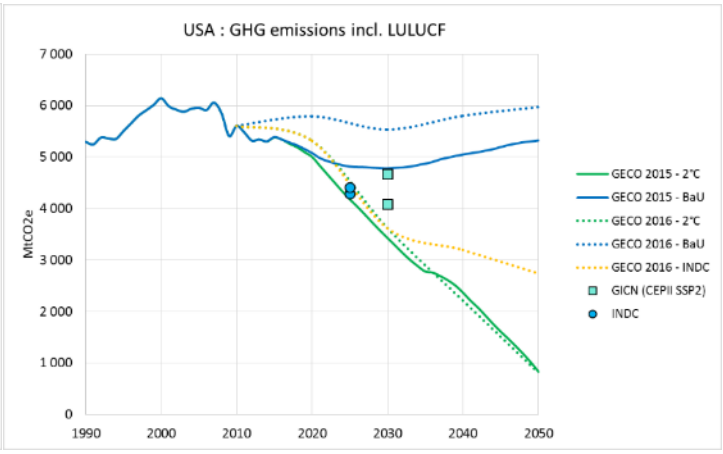
Hypothèses	Sources	Noms utilisés dans les graphiques ci-dessous
2 scénarios de type BaU	Baseline scenario (GECO 2015)	GECO 2015 - BaU
	Reference scenario (GECO 2016)	GECO 2016 – BaU
2 scénarios de type 2°C	Mitigation scenario (GECO 2015)	GECO 2015 – 2°C
	2°C scenario (GECO 2016)	GECO 2016 – 2°C
1 scénario INDC	INDC scenario (GECO 2016)	GECO 2016 - INDC
2 exercices de quantification des objectifs INDC en GES	Estimations des émissions de GES des INDC avec les hypothèses de croissance du PIB du scénario SSP2 du CEPII (GICN)	GICN (CEPII SSP2)
	Estimations des émissions des GES induites par les INDC selon l'exercice présenté ci-dessus	*INDC*

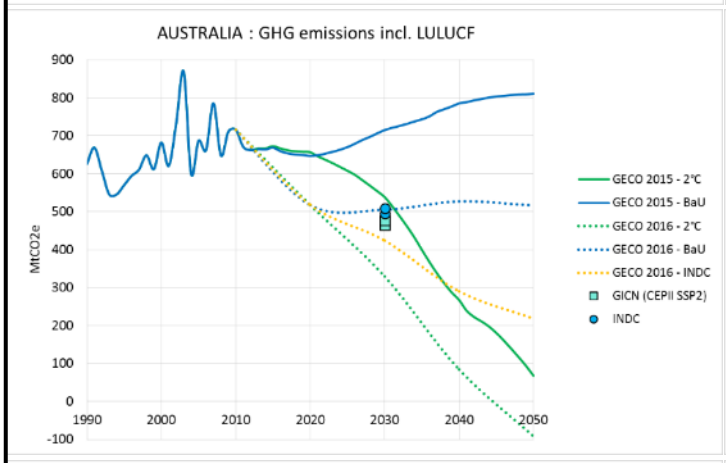
Toutes les estimations d'émissions de GES obtenues précédemment sont représentées sur les graphiques ci-dessous avec la légende « INDC ». Les trajectoires d'émissions des scénarios 2°C et *BaU* sont également présentées afin de pouvoir situer les INDC au regard de trajectoires de long terme. Pour la plupart des pays les résultats sont proches du scénario INDC de GECO 2016 et des estimations du GICN.

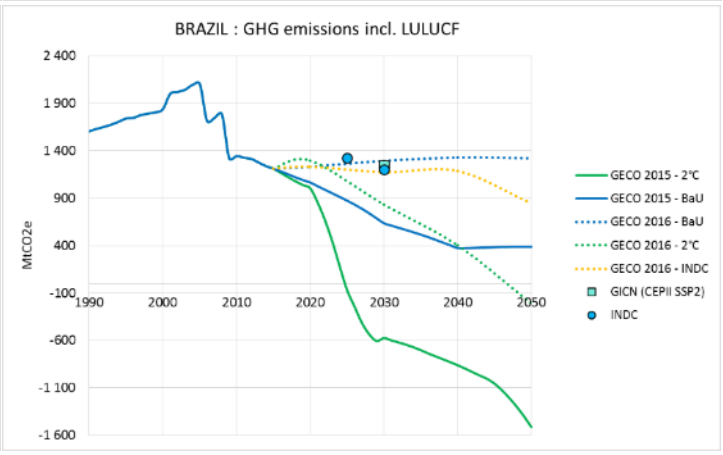
Seules les estimations des émissions de GES résultant des INDC russe et indien diffèrent selon les sources. Les raisons de ces différences de résultats sont étudiées plus tard dans l'analyse (*cf.* 2.3.)

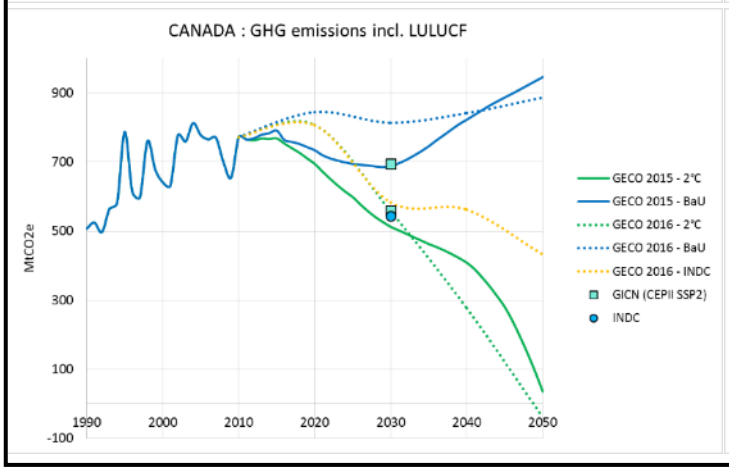
Encadré 2 - Emissions de GES induites par les objectifs INDC au regard de scénario *BaU* et 2°C

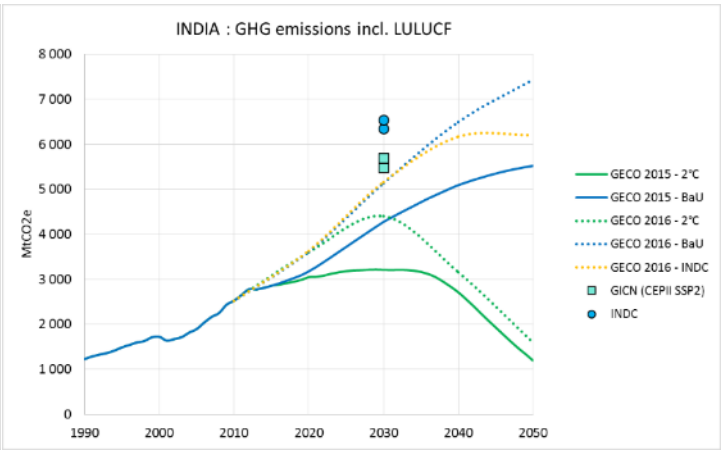


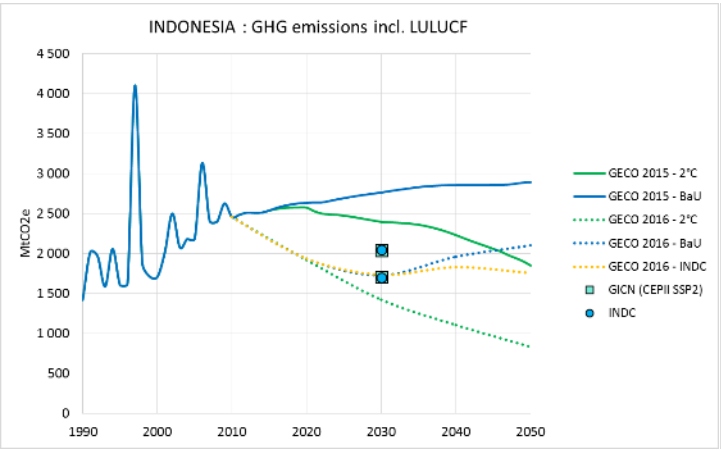


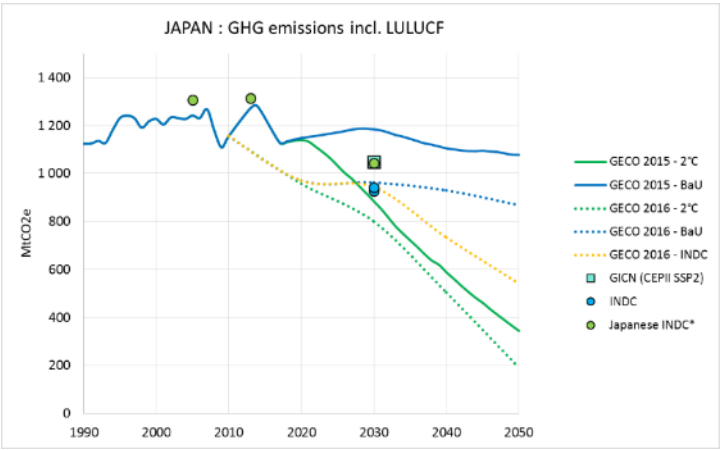




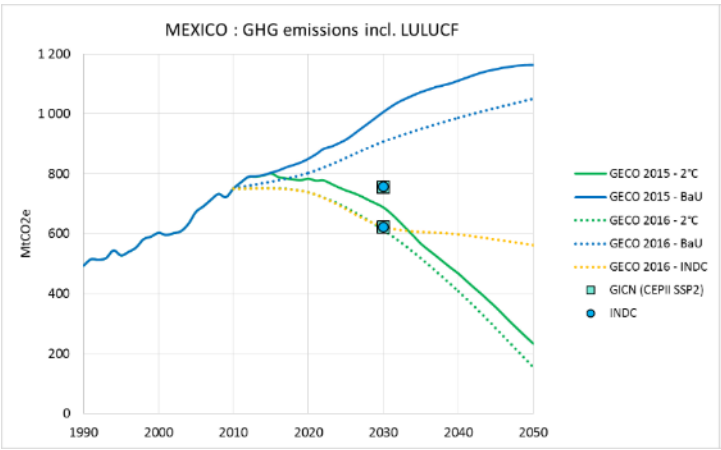


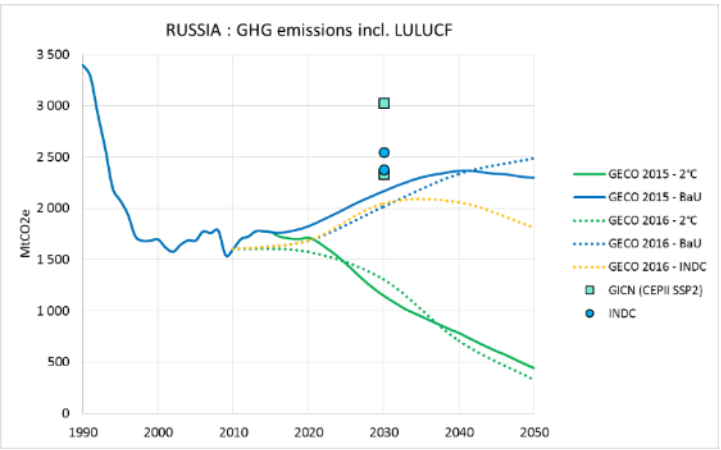


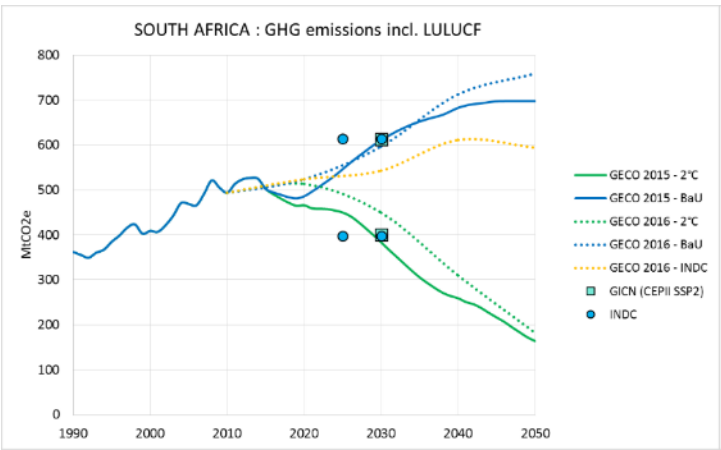


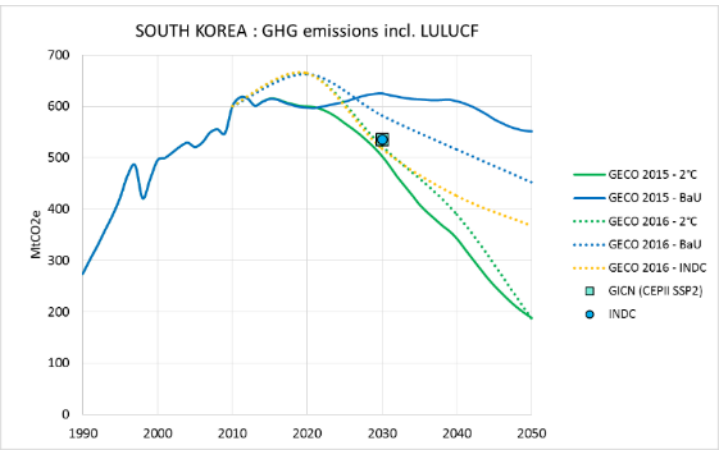


*A titre informatif, les données d'émissions de GES précisées dans l'INDC japonais sont positionnées sur le graphique sous l'appellation "*Japanese INDC*".









1.1.2 Hypothèses sur les émissions de LULUCF et passage en émissions de GES nettes du LULUCF

La deuxième étape pour transcrire les INDC en émissions de CO2 a été d'estimer les émissions de LULUCF pour chaque pays étudié.

Certains pays mentionnent des objectifs sur le LULUCF dans leur INDC. Dans ce cas, il a fallu traduire les objectifs en MtCO2 (1.1.2.1.). Pour les pays ne fournissant pas de détail sur le LULUCF dans leurs INDC, les émissions à 2025 ou 2030 ont été estimées soit à partir des tendances historiques des émissions de LULUCF[8] (1.1.2.2.), soit à partir de rapports nationaux pour l'Union Européenne et les Etats-Unis (1.1.2.3), soit à partir de la part du LULUCF sur le total des émissions pour l'Indonésie (1.1.2.4.).

1.1.2.1 Pays qui mentionnent un objectif sur le LULUCF

Quatre pays mentionnent un objectif sur le LULUCF dans leur INDC : La Chine, le Japon, le Brésil et l'Inde.

Emissions de LULUCF du Japon

L'INDC japonais mentionne un objectif d'émissions de LULUCF de -37MtCO2 en 2030. Cet objectif sera directement utilisé pour estimer les émissions nettes du LULUCF du Japon.

Emissions de LULUCF du Brésil

Le Brésil a comme objectif de réussir à stopper la déforestation illégale d'ici 2030 et de compenser les émissions liées aux activités légales de suppression de la végétation. Cet objectif est traduit par l'atteinte d'une neutralité des émissions du LULUCF en 2030.

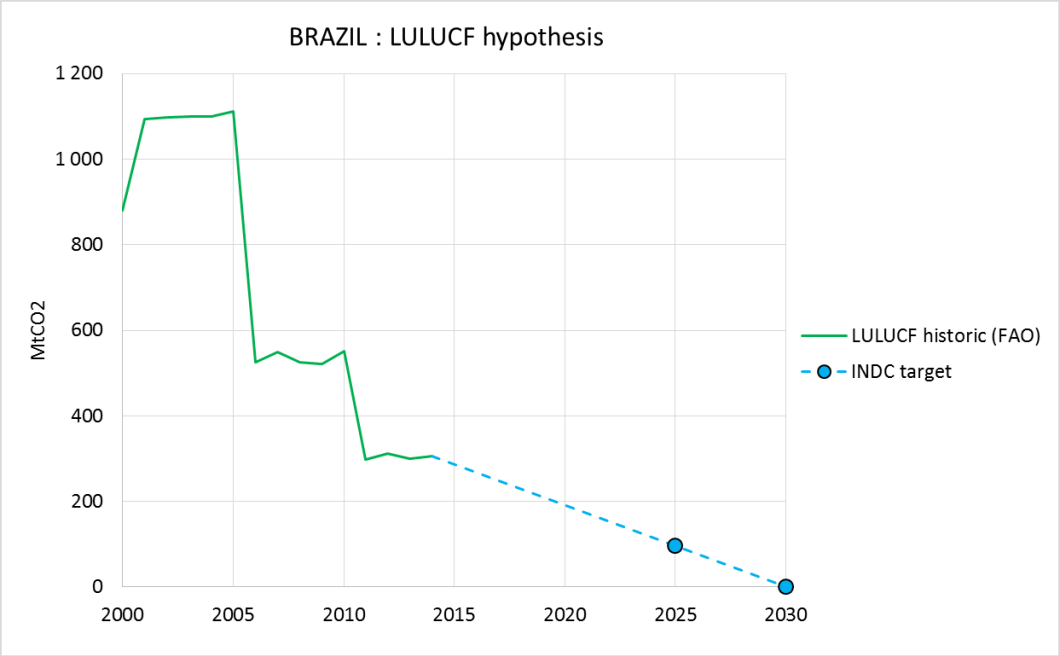
Les émissions de LULUCF pour l'année 2025 ont ensuite été calculées par extrapolation linéaire entre les émissions de 2014 (306 MtCO2) et les émissions estimées de 2030 (0MtCO2), soit :

$$\mathrm{LULUCF}_{2025} = \mathrm{LULUCF}_{2014} + \left(\frac{\mathrm{LULUCF}_{2030} - \mathrm{LULUCF}_{2014}}{n_{2014/2030}} * n_{2014/2025}\right)$$

Le graphique ci-dessous représente les émissions historiques de LULUCF et les objectifs de l'INDC.

[8] Toutes les données d'émissions historiques de LULUCF utilisées dans les calculs ci-dessous proviennent de la même source : FAO (2016). FAOSTAT Emissions Land Use database. Base de données disponible à l'adresse : http://faostat3.fao.org/browse/G2/*/E (dernier accès le 27/10/2016).

Figure 1 - Emissions de LULUCF du Brésil



Emissions de LULUCF de l'Inde

L'INDC indien mentionne l'ambition suivante : « *[…] to create an additional carbon sink of 2.5 to 3 billion tonnes of CO2 equivalent through additional forest and tree cover by 2030. ».*

Aucun détail supplémentaire n'est clairement spécifié dans l'INDC.

Compte tenu des émissions historiques de l'Inde[9], il apparaît pertinent de considérer qu'il s'agit d'un objectif de séquestration de CO2 cumulé sur une période. Il n'est cependant pas précisé sur quelle période s'étend cet objectif : faut-il considérer la même année de référence que pour l'objectif en intensité, soit 2005 ? L'année de soumission de l'INDC, 2015 ? Ou enfin la période 2021-2030 qui correspond à la période d'engagement de l'accord de Paris ?

Afin de recouvrir au mieux les incertitudes liées au LULUCF, il a été déterminé deux estimations des émissions de LULUCF à 2030 : une estimation haute et une estimation basse qui offrent ainsi un intervalle relativement large d'émissions de LULUCF pour l'année 2030.

L'estimation haute ne prend pas en compte l'objectif de l'INDC et considère une stabilisation des émissions de LULUCF au même niveau que 2014, soit 123MtCO2.

L'estimation basse intègre l'objectif maximum de 3GtCO2 séquestrées par les puits de carbone en considérant que cet objectif s'applique sur la période 2015-2030 par une fonction linéaire croissante, conduisant à -360MtCO2 en 2030.

[9] En 2014 les émissions de LULUCF représentaient 122MtCO2 (FAO (2016). FAOSTAT Emissions Land Use database. Base de données disponible à l'adresse : http://faostat3.fao.org/browse/G2/*/E , dernier accès le 27/10/2016) et le total des émissions est estimé à 3GtCO2e pour la même année.

A ces objectifs de séquestration additionnelle s'ajoute donc le niveau d'émissions de l'année de référence, soit 213MtCO2 en 2014. Les émissions de LULUCF pour l'année 2030 seraient alors de -237MtCO2. La figure ci-dessous apporte une représentation graphique des détails de calcul de l'estimation basse. Ces deux estimations permettent de proposer un *range* d'émissions de LULUCF pour 2030 compris entre 123MtCO2 et -360MtCO2 (*cf.* figures ci-dessous).

Figure 2 - Détails du calcul de l'estimation basse d'émissions du LULUCF de l'Inde en 2030

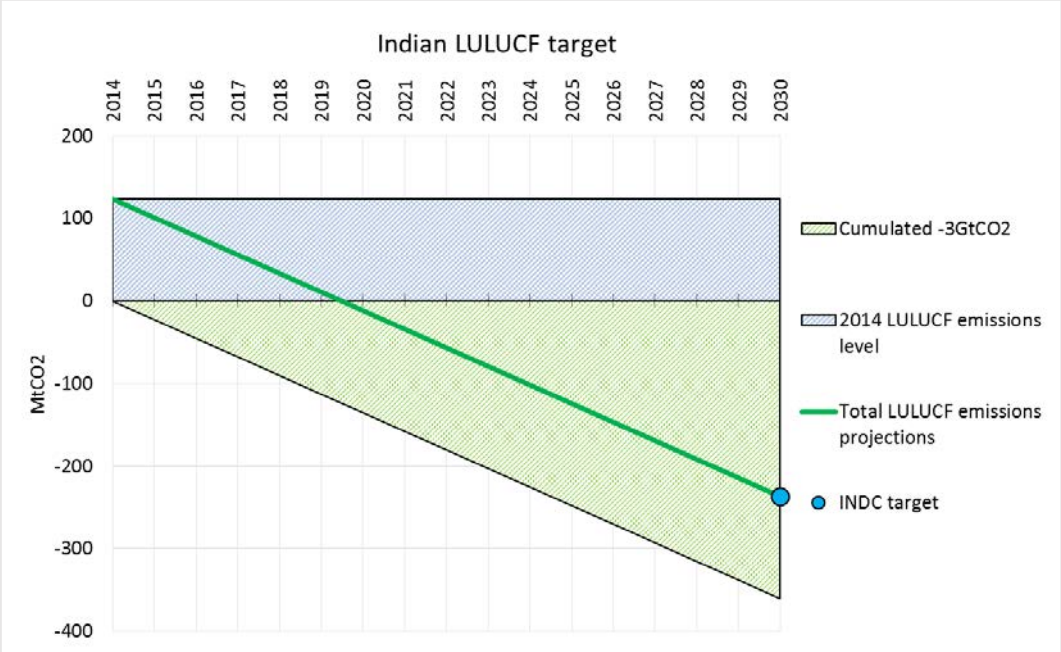
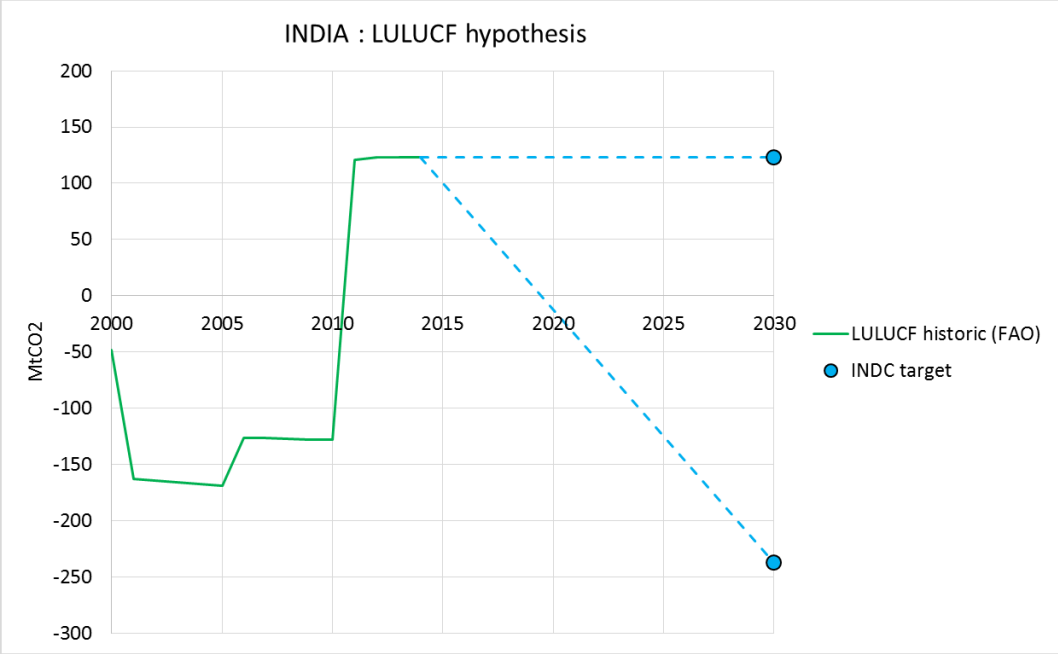


Figure 3 - Hypothèses d'émissions de LULUCF pour l'Inde en 2030



Le tableau ci-dessous résume les objectifs de LULUCF des trois pays venant d'être étudiés.

Tableau 7 - Tableau récapitulatif des émissions de LULUCF des INDC pour le Japon, le Brésil et l'Inde

Parties	Emissions de LULUCF en 2025	Emissions de LULUCF en 2030
Japon	--	***- 37 MtCO2***
Brésil	***96 MtCO2***	***0 MtCO2***
Inde	--	***-237 à 123 MtCO2***

1.1.2.2 Quantification des émissions de LULUCF à 2025 ou 2030 par rapport aux tendances historiques

Les autres pays ne mentionnent pas d'objectifs quantifiables liés au LULUCF dans leur INDC. Certains, en particulier la Russie, font état de l'importance du LULUCF dans un objectif de long-terme de limiter la hausse des températures à 2°C, sans toutefois préciser d'objectifs concrets. Pour ces pays il a alors fallu estimer les émissions selon les tendances historiques des émissions de LULUCF. Les tendances les plus révélatrices des dernières années ont ainsi été utilisées pour chaque pays et ont permis d'estimer les émissions liées au LULUCF à 2030. Le tableau ci-dessous apporte un récapitulatif des hypothèses utilisées dans les calculs et des résultats.

Tableau 8 - Tableau récapitulatif des émissions de LULUCF des INDC pour l'Australie, le Canada, la Russie, l'Afrique du Sud et la Corée

Parties	Période historique prise en compte	TCAM de la période (%/an)	Emissions de LULUCF en 2014 (MtCO2)	Emissions de LULUCF en 2030 (MtCO2)
Australie	2010-2014	0,52%	-67	-61
Canada	2010-2014	-12,27%	122	11
Mexique	2010-2014	-10%	7,5	1
Russie	2000-2014	5,01%	-107	-234
Afrique du Sud	2000-2014	0,23%	2,3	2,4 (2025 et 2030)
Corée du Sud	2000-2014	1,17%	-40	-48

1.1.2.3 Quantification des émissions de LULUCF pour l'Union européenne et les Etats-Unis à partir d'estimations nationales

Pour l'Union Européenne et les Etats-Unis, nous utilisons des estimations nationales permettant de diminuer les incertitudes liées aux niveaux d'émissions de LULUCF.

Les émissions de LULUCF en 2030 de l'Union Européenne que nous utilisons sont basées sur les estimations d'une communication de la Commission Européenne de 2014[10]. Ce rapport mentionne 8 estimations d'émissions de LULUCF en 2030 allant de -214,6 à -207,3 MtCO2. Nous utilisons comme estimations la moyenne de ces 8 projections, soit -212 MtCO2 en 2030.

Pour les Etats-Unis, nous utilisons le range d'émissions mentionné par le *2nd Biennial report of the USA*, soit de -1201 à -908 en 2025[11].

Tableau9 récapitulatif des émissions de LULUCF pour l'Union européenne et les Etats-Unis

Parties	Emissions de LULUCF en 2025	Emissions de LULUCF en 2030
Union Européenne	--	***-212 MtCO2***
Etats-Unis	***-1201 à -908 MtCO2***	--

1.1.2.4 Cas particulier de l'Indonésie

Les émissions de LULUCF en Indonésie varient très fortement d'une année sur l'autre, comme le montre la figure 4. Le choix a alors été fait d'utiliser une méthodologie différente pour l'Indonésie, reposant sur la tendance historique de la part du LULUCF sur le total des émissions de GES. Entre 2010 et 2014, les émissions de LULUCF sur le total des émissions de GES du pays représentaient en moyenne 58% sur la période (*cf.* figure 5). Il a été ensuite considéré que la part du LULUCF sur le total des émissions de GES en 2030 sera égale à cette moyenne historique. Le taux de 58% a ainsi été appliqué aux émissions de GES estimées pour l'Indonésie en 2030 (1 700 et 2 046 MtCO2e, *cf.* 1.1.1.2.). Les émissions de LULUCF à 2030 sont alors comprises dans une fourchette allant de 987 à 1 187MtCO2.

[10] European Commission, 2014, "A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030".
[11] US Department of State, 2016, « Second Biennial Report of the United States of America », under the UNFCCC.

Figure 4- Emissions de LULUCF historiques de l'Indonésie

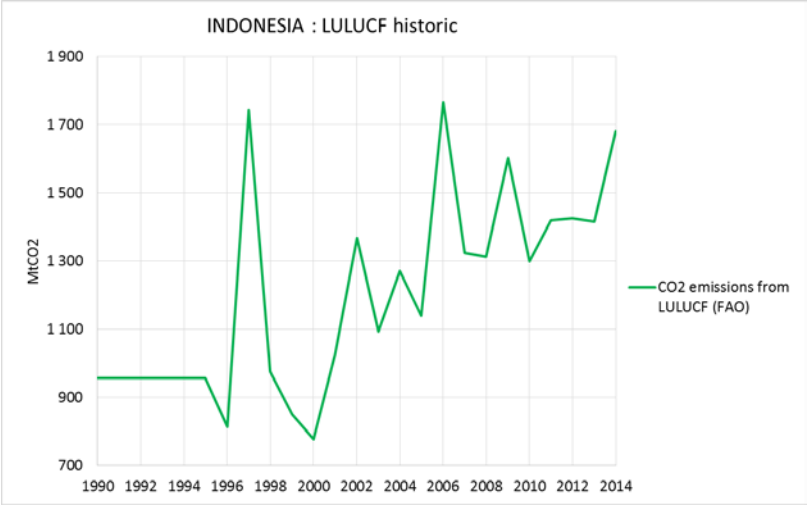


Figure 5 - Part du LULUCF sur le total des émissions de GES de l'Indonésie : historique et projection à 2030

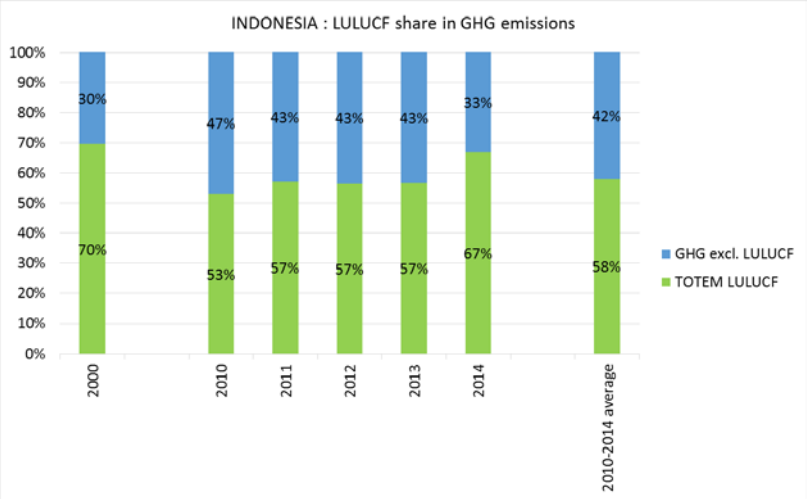


Tableau 10 - Méthodologie de calcul des émissions LULUCF pour l'Indonésie en 2030

Parties	Emissions de GES en 2030 en MtCO2e	Part du LULUCF sur le total des émissions de GHG (moyenne 2010-2014)	Emissions de LULUCF en 2030
Indonésie	1 700 à 2 046 MtCO2e	58%	987 à 1 187 MtCO2

1.1.2.5 Tableau récapitulatif des objectifs en tout gaz net du LULUCF

Pour chaque pays, les émissions de LULUCF ont ensuite été soustraites des émissions de GES, permettant ainsi d'avoir des objectifs d'émissions de GES nettes du LULUCF. Le tableau ci-dessous propose un récapitulatif des résultats présentés dans les paragraphes précédents.

Tableau 11 - Quantification des objectifs en émissions de GES nettes du LULUCF

		2025		2030	
		Min.	Max.	Min.	Max.
UE 28	GES (MtCO2e)			3 143	
	LULUCF (MtCO2)			- 212	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			3 355	
Etats-Unis	GES (MtCO2e)	4 290	4 409		
	LULUCF (MtCO2)	-1 201	-908		
	GES net du LULUCF (MtCO2e)	5 198	5 610		
Inde	GES (MtCO2e)			6 351	6 547
	LULUCF (MtCO2)			-237	123
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			6 228	6 784
Australie	GES (MtCO2e)			465	477
	LULUCF (MtCO2)			-61	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			556	570
Brésil	GES (MtCO2e)	1 326		1 200	
	LULUCF (MtCO2)	96		0	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)	1 230		1 200	
Canada	GES (MtCO2e)			544	
	LULUCF (MtCO2)			11	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			533	
Corée du Sud	GES (MtCO2e)			536	
	LULUCF (MtCO2)			-48	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			584	
Indonésie	GES (MtCO2e)			1 700	2 046
	LULUCF (MtCO2)			987	1 187
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			513	1 059
Japon	GES (MtCO2e)			926	942
	LULUCF (MtCO2)			-37	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			963	979
Mexique	GES (MtCO2e)			623	759
	LULUCF (MtCO2)			1	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			622	758
Russie	GES (MtCO2e)			2 378	2 547
	LULUCF (MtCO2)			-234	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)			2 611	2 781
Afrique du Sud	GES (MtCO2e)	398	614	398	614
	LULUCF (MtCO2)	2		2	
	GES net du LULUCF (MtCO2e)	396	612	396	612

1.1.3 Transcription des objectifs en émissions de CO2 nettes du LULUCF

La dernière étape a été de transcrire les émissions de GES nettes du LULUCF, en émissions de CO2. Il a donc fallu déterminer un facteur de conversion GES/CO2.

Les facteurs de conversion communément utilisés dans les projections sont ceux des scénarios IIASA[12]. Toutefois, ces facteurs ne sont disponibles qu'à échelle mondiale et ne proposent pas de détail régional. Alors, et afin d'intégrer au mieux les spécificités de chaque pays, une autre méthodologie reposant sur des ratios GES/CO2 différenciés par région a été utilisée.

Pour chaque pays, et pour chacun des trois scénarios GECO 2016, le facteur de conversion GES/CO2 (r) en 2030[13] a été calculé tel que :

$$r = \frac{\text{GES excl.LULUCF}_{2030}}{\text{CO2 excl.LULUCF}_{2030}}$$

Tableau 12 – Identification des facteurs de conversion GES/CO2 en 2030 à partir de GECO 2016 et des INDC

Ratio GES/CO2 en 2030					
Pays	**GECO 2016**				**Calculé à partir des données fournies dans l'INDC**
	Scenario 2°C	**Scenario Reference**	**Scenario INDC**	**Moyenne des 3 scénarios GECO**	
UE 28	1,21	1,21	1,21	***1,21****	N/A
Etats-Unis	1,22	1,25	1,26	***1,23****	
India	1,24	1,29	1,29	***1,27****	
Australia	1,29	1,31	1,30	***1,30****	
Brésil	1,88	2,14	2,03	***2,02****	
Canada	1,23	1,26	1,23	***1,24****	
Corée du Sud	1,09	1,09	1,09	***1,09****	
Indonesia	1,42	1,51	1,51	***1,48****	
Japan	1,05	1,06	1,05	1,04	***1,08****
Mexique	1,35	1,46	1,35	***1,39****	N/A
Russie	1,31	1,46	1,35	***1,38****	
Afrique du Sud	1,17	1,21	1,16	***1,18****	

**Ratios utilisés dans le calcul.*

[12] Voir la base de données de l'IIASA à l'adresse https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb (dernier accès le 2/11/2016).
[13] *NB.* Les émissions de 2025 ne sont pas données dans GECO 2016.

Le tableau ci-dessus présente les ratios GES/CO2 des 3 scénarios GECO et de l'INDC japonais[14]. Le ratio moyen des 3 scénarios GECO a ensuite été utilisé pour chaque pays et a permis de convertir les émissions de GES des INDC en émissions de CO2, tel que :

$$\text{CO2 excl. LULUCF}_{AC} = \text{GES excl. LULUCF}_{AC} / r$$

Avec AC, l'année cible (2025 ou 2030 selon les pays)[15].

Pour le Japon, le calcul est le même, seul le ratio est différent puisqu'il repose sur les données d'émissions communiquées dans l'INDC et non sur les projections d'émissions des scénarios GECO.

Le tableau ci-dessous détaille les résultats et les données utilisées pour la conversion des émissions de GES nettes du LULUCF en émissions de CO2 nettes du LULUCF pour l'année cible des INDC.

Tableau 13 - Conversion des émissions de GES nettes du LULUCF en CO2 nettes du LULUCF

		2025		2030	
		Min.	Max.	Min.	Max.
UE 28	GES net du LULUCF (MtCO2e)			3 355	
	Facteur GES/CO2 moyen	1,21			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			2 778	
Etats-Unis	GES net du LULUCF (MtCO2e)	5 198	5 610		
	Facteur GES/CO2 moyen	1,23			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)	4 232	4 567		
Inde	GES net du LULUCF (MtCO2e)			6 228	6 784
	Facteur GES/CO2 moyen	1,27			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			4 889	5 325
Australie	GES net du LULUCF (MtCO2e)			556	570
	Facteur GES/CO2 moyen	1,30			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			427	438
Brésil	GES net du LULUCF (MtCO2e)	1 230		1 200	
	Facteur GES/CO2 moyen	2,02			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)	611		595	
Canada	GES net du LULUCF (MtCO2e)			533	
	Facteur GES/CO2 moyen	1,24			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			429	
Corée du Sud	GES net du LULUCF (MtCO2e)			584	
	Facteur GES/CO2 moyen	1,09			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			537	
Indonésie	GES net du LULUCF (MtCO2e)			513	1 059
	Facteur GES/CO2 moyen	1,48			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			347	717
Japon	GES net du LULUCF (MtCO2e)			963	979
	Facteur GES/CO2 moyen	1,08			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			891	905

[14] La contribution japonaise est la seule qui fournit des détails par gaz sur les émissions en 2030.

[15] En l'absence de données pour l'année 2025 dans les scénarios GECO 2016, le ratio 2030 est également utilisé pour les objectifs d'émissions fixés pour 2025.

Mexique	GES net du LULUCF (MtCO2e)			622	7598
	Facteur GES/CO2 moyen	1,39			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			477	545
Russie	GES net du LULUCF (MtCO2e)			2 611	2 781
	Facteur GES/CO2 moyen	1,38			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)			1 887	2 010
Afrique du Sud	GES net du LULUCF (MtCO2e)	396	612	396	612
	Facteur GES/CO2 moyen	1,18			
	CO2 net du LULUCF (MtCO2)	334	517	334	517

1.1.4 Cas particulier de la Chine : d'un objectif en intensité carbone à un objectif en CO2

L'objectif soumis par la Chine est le suivant : « *[…] by 2030 […] to lower carbon dioxide emissions per unit of GDP by 60% to 65% from the 2005 level […]* ». Afin de transcrire l'objectif chinois en émissions de CO2, il a donc fallu faire des hypothèses sur la croissance du PIB. Les projections de PIB utilisées sont basées sur celles de GECO 2016[16] (*cf.* tableau ci-dessous). Les hypothèses de croissance de GECO ont été appliquées aux données historiques de PIB du CEPII[17] à partir de l'année 2015, donnant un taux de croissance annuel moyen de 6,5% sur la période 2010 et 2030.

Tableau 14 - Projections de croissance du PIB chinois

TCAM du PIB de différents scénarios	2000-2010	2010-2030	2030-2050
PIB utilisé ($05ppa)	***10,5%***	***6,5%***	***2,7%***
GECO 15 ($05ppa)	10,2%	6,4%	2,9%
GECO 16 ($05ppa)	9,5%	6,8%	2,8%
CEPII SSP2 ($05ppa)	10,5%	7,1%	4,4%

Les émissions induites par l'INDC chinois ont ensuite été estimées telles que :

$$CO2_{2030} = [\frac{CO2_{2005}}{PIB_{2005}} * (1\text{-}t)]*PIB_{2030}$$

Le tableau ci-dessous détaille les données utilisées dans le calcul et les résultats sur l'intensité CO2 du PIB et les émissions de CO2 induites.

[16] Comme cela a été précisé pour l'Inde, ces hypothèses ont été préférées à d'autres compte tenu de leur publication récente, intégrant les dernières tendances de l'économie chinoise.

[17] A partir de la version 2.4 de janvier 2016 de l'EconMap du CEPII. Voir aussi : http://www.cepii.fr/CEPII/fr/bdd_modele/presentation.asp?id=11 (dernier accès le 3/11/2016),

Tableau 15 - Tableau récapitulatif des objectifs de la Chine exprimés en intensité CO2 du PIB

Année de référence (2005)			Réduction de l'intensité des émissions du PIB (t) (source : INDC)	Année cible (2030)		
Emissions de CO2 en MtCO2 (source : POLES)	PIB en M$ PPA$2005 (source : CEPII)	CO2/PIB (tCO2e/M$)		CO2/PIB (tCO2/M$)	PIB (M$ PPA$2005)	Emissions de CO2 (MtCO2)
6 053	5 366 159	*1 128*	-60% à -65%	395 à 451	31 282 400	***12 351 à 14 115***

1.2 Résultats et discussion

Le tableau ci-dessous reprend les émissions de CO2 induites par les INDC telles qu'elles viennent d'être estimées.

Tableau 16 - Tableau récapitulatif des émissions de CO2 résultant des INDC

Emissions de CO2 induites par les INDC (MtCO2 excl. LULUCF)				
Pays	**2025**		**2030**	
	Min.	Max.	Min.	Max.
UE 28			2 778	
Etats-Unis	4 232	4 567		
Chine			12 351	14 115
Inde			4 889	5 325
Australie			427	438
Brésil	611		595	
Canada			429	
Corée du Sud			537	
Indonésie			347	717
Japon			891	905
Mexique			477	545
Russie			1 887	2 010
Afrique du Sud	334	517	334	517

La transcription des INDC en émissions de CO2 nettes du LULUCF permet ainsi d'assurer la comparabilité des contributions des pays en ramenant tous les objectifs en une unité de mesure commune : la tonne de CO2.

Une approche standard pour comparer le degré d'effort des pays est l'analyse des efforts de réduction des émissions de CO2 par rapport aux émissions historiques. Le tableau ci-dessous présente les réductions d'émissions de CO2 induites par les INDC par rapport à 1990 et 2014.

Tableau 17 - Réduction d'émissions de CO2 induites par les INDC

	Absolute reductions in CO2							
	2025 targets				2030 targets			
	1990 / 2025		2014 / 2025		1990 / 2030		2014 / 2030	
	min value	max value	min value	max value	min value	max value	min value	max value
USA	-16%	-9%	-17%	-11%				
EU28					-36%		-21%	
China					375%	443%	22%	40%
India					709%	781%	136%	157%
Australia					44%	48%	0%	3%
Brazil		181%		25%	174%		22%	
Canada					-4%		-24%	
Indonesia					115%	343%	-30%	44%
Japan					-21%	-20%	-31%	-30%
Mexico					46%	78%	-13%	7%
Russia					-24%	-19%	9%	16%
South Africa	14%	77%	-23%	18%	14%	77%	-23%	18%
South Korea					111%		-10%	

Une telle approche peut toutefois sembler quelque peu « incomplète » du fait que l'étude des taux de réduction des émissions d'une année par rapport à une autre ne reflète pas les spécificités des pays notamment en terme de dynamique de développement économique, ou d'état d'avancement des politiques climatiques.

L'analyse des INDC se poursuit donc par l'évaluation du degré d'effort implicite induit par les objectifs INDC en tenant compte des spécificités propres à chacun des pays. Ceci se fait au travers de l'évaluation de la valeur implicite du carbone à l'appui du modèle POLES (*cf.* 2.).

2 Evaluation de la valeur carbone implicite aux INDC à l'appui du modèle POLES

La transcription des INDC en émissions de CO2 nettes du LULUCF (*cf.* 1.) a permis d'approcher les objectifs des contributions nationales par le biais d'une même unité de mesure (la tCO2). Ceci nous permet à travers le modèle POLES[18] de mettre en place une méthodologie d'évaluation des INDC (2.1.) pour révéler la valeur carbone implicite aux INDC (2.2.).

2.1 Méthodologie pour évaluer les valeurs carbone implicites aux INDC

2.1.1 Présentation générale du modèle POLES

POLES est un modèle de simulation du système énergétique mondial développé conjointement par le laboratoire LEPII (devenu aujourd'hui l'axe énergie du laboratoire GAEL), le JRC IPTS de la Commission Européenne et Enerdata. Il s'agit d'un modèle *bottom-up*, d'équilibre partiel qui procède par simulation récursive. Sa structure repose sur des modules interconnectés.

Les hypothèses économiques sont exogènes au modèle et l'ensemble des variables structurant la demande et l'offre en énergie, ainsi que les prix, sont estimées de manière endogène pour chacun des grands pays et grandes régions du monde. A partir de l'année initiale de la simulation, des ajustements s'effectuent d'année en année (simulation récursive) pour chaque variable d'offre et de demande et de prix.

La modèle POLES a été utilisé dans de nombreux projets européens dont les plus récents sont ADVANCE (*Advanced Model Development and Validation for the Improved Analysis of Costs and Impacts of Mitigation Policies*) et AMPERE (*Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates*)[19].

2.1.2 Première approche de la valeur carbone implicite aux INDC

Le modèle POLES permet d'appréhender le degré de contraintes de réduction des émissions de GES au travers de « la valeur carbone » implicite. Elle est utilisée dans le modèle comme un *proxy* du niveau de contrainte des politiques climatiques nationales, régionales ou mondiales.

Une première démarche est développée pour approcher la valeur carbone implicite des INDC de chacun des 16 pays. Un ensemble de scénarios ont été ensuite successivement réalisé avec une trajectoire de Valeur Mondiale du Carbone (VMC) exogène. Chacun de ces scénarios est désigné par la VMC en 2030: soit 17 scénarios pour des VMC allant de 0$/tCO2 en 2030 à 120$/tCO2 par

[18] *Prospective Outlook on Long-term Energy System*. Pour plus de détails sur ce modèle, se référer au paragraphe suivant (*cf.* 2.1.1.).

[19] Pour de plus amples détails sur le modèle POLES, voir notamment : The Costs of Climate Change for the European Energy System, an Assessment with the POLES Model, Mima, S., Criqui, P. Environmental Modelling and Assessment DOI 10.1007/s10666-015-9449-3, Feb 2015.

incrément de 10$/tCO2, ainsi que les valeurs allant de 150$/tCO2 à 300$/tCO2 par incrément de 50$/tCO2. Les trajectoires de valeurs carbone des différents scénarios sont représentées dans la figure 6. Toutes les autres hypothèses exogènes des scénarios sont identiques. Cependant, il est important de noter que les prix des énergies endogènes au modèle sont différents dans chacun de ces 17 scénarios avec VMC différente. Le tableau 18 synthétise les hypothèses de valeurs carbone utilisées pour chacun des scénarios.

Figure 6 - Trajectoires de valeur carbone utilisées dans la construction des scénarios

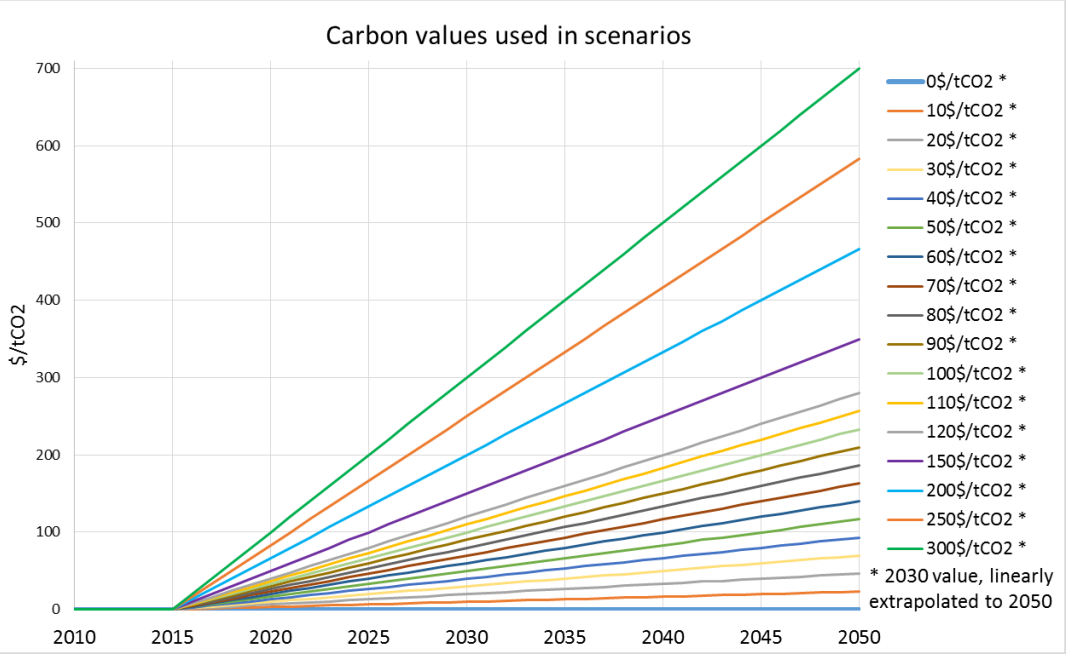


Tableau 18 - Tableau récapitulatif des hypothèses de valeur mondiale du carbone des scénarios

Nom du scénario	Valeur mondiale du carbone en 2030	Valeur mondiale du carbone en 2050 (par extrapolation linéaire à partir de 2030)
0$/tCO2 (scénario BaU)	0 $/tCO2	0 $/tCO2
10$/tCO2	10 $/tCO2	23 $/tCO2
20$/tCO2	20 $/tCO2	47 $/tCO2
30$/tCO2	30 $/tCO2	70 $/tCO2
40$/tCO2	40 $/tCO2	93 $/tCO2
50$/tCO2	50 $/tCO2	116 $/tCO2
60$/tCO2	60 $/tCO2	140 $/tCO2
70$/tCO2	70 $/tCO2	163 $/tCO2
80$/tCO2	80 $/tCO2	187 $/tCO2
90$/tCO2	90 $/tCO2	210 $/tCO2
100$/tCO2	100 $/tCO2	233 $/tCO2
110$/tCO2	110 $/tCO2	257 $/tCO2
120$/tCO2	120 $/tCO2	280 $/tCO2
150$/tCO2	150 $/tCO2	350 $/tCO2
200$/tCO2	200 $/tCO2	467 $/tCO2
250$/tCO2	250 $/tCO2	583 $/tCO2
300$/tCO2	300 $/tCO2	700 $/tCO2

2.1.3 Hypothèses de croissance du PIB

Dans un souci de cohérence, les hypothèses de PIB intégrées à la construction des scénarios sont les mêmes que celles ayant permis de calculer les objectifs des INDC exprimés en intensité du PIB (*cf.* méthodologie de transcription des INDC indien -1.1.1.3.- et chinois -1.1.4.-). Ainsi, les projections de croissance du PIB reposent sur les hypothèses du rapport GECO 2016[20]. Pour rappel, ces hypothèses de croissance ont été préférées à d'autres car elles reflètent les tendances récentes des économies nationales en intégrant notamment les projections récentes du FMI[21]. A partir de l'année 2015, les projections de croissance de GECO ont été appliquées aux données de PIB historiques du CEPII[22]. Le tableau ci-dessous synthétise les hypothèses finales de croissance utilisées pour la construction des scénarios.

Tableau 19 - Hypothèses de croissance des scénarios

Pays	TCAM du PIB		
	2000-2010	2010-2030	2030-2050
UE 28	1,5%	1,2%	1,5%
Etats-Unis	1,5%	1,9%	1,7%
Chine	10,5%	6,5%	2,7%
Inde	7,6%	6,5%	4,5%
Australie	3%	2,6%	2,2%
Brésil	7,6%	6,5%	4,4%
Canada	1,9%	1,6%	2%
Corée du Sud	4,2%	3%	1,2%
Indonésie	5,2%	5,3%	3,8%
Japon	0,8%	0,8%	1%
Mexique	1,8%	3,1%	2,9%
Russie	4,8%	1,9%	0,6%
Afrique du Sud	3,5%	2,9%	2,8%

2.2 Résultats

En mettant en parallèle pour chaque pays les 17 trajectoires d'émissions correspondant à chacune des 17 VMC testées et les objectifs INDC exprimés en CO2, il est possible d'identifier les VMC en 2030 pour lesquels les émissions de CO2 se rapprochent des objectifs des pays. Les résultats de cette analyse conduisent à distinguer deux grandes catégories de pays : ceux pour lesquels il est possible d'approximer la contrainte INDC par une valeur du carbone parmi l'un des 17 scénarios (2.2.1.) et ceux pour lesquels les objectifs des INDC restent supérieurs au scénario *BaU* avec une VMC nulle (2.2.2.).

[20] Kitous, A., Keramidas, K., Vandyck, T., Saveyn, B. (2016). GECO 2016. Global Energy and Climate Outlook. Road from Paris. EUR 27952 EN. doi:10.2791/662470

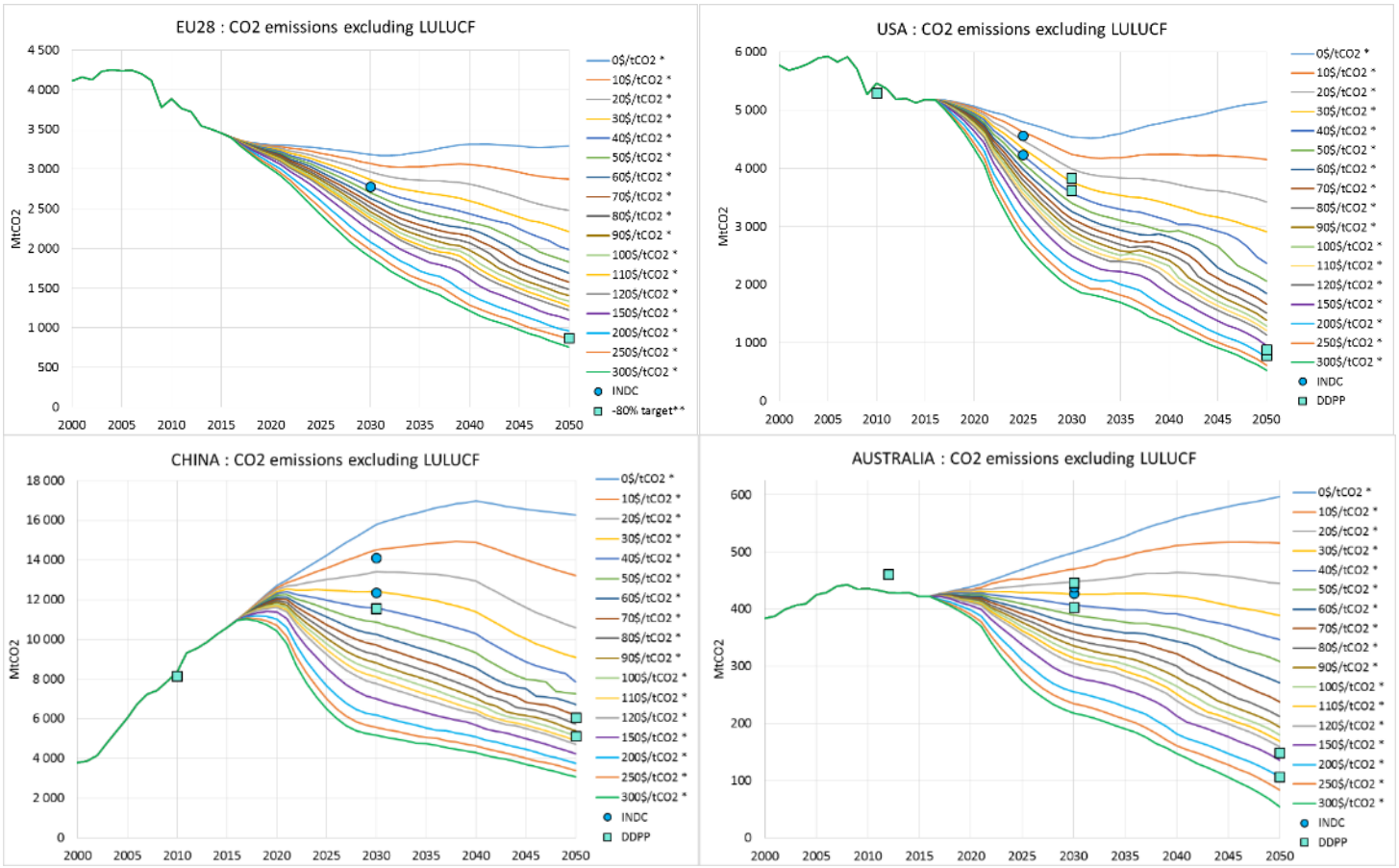
[21] https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/01/weodata/index.aspx (dernier accès le 3/11/2016)

[22] A partir de la version 2.4 de janvier 2016 de l'EconMap du CEPII. Voir aussi : http://www.cepii.fr/CEPII/fr/bdd_modele/presentation.asp?id=11 (dernier accès le 3/11/2016), Fouré, J., Bénassy-Quéré, A., & Fontagné, L. (2012), The Great Shift: Macroeconomic Projections for the World Economy at the 2050 Horizon, CEPII Working paper 2012-03. Fouré, J., Bénassy-Quéré, A., & Fontagné, L. (2013), Modelling the world economy at the 2050 horizon, Economics of Transition 21 (4), p.p. 617-654.

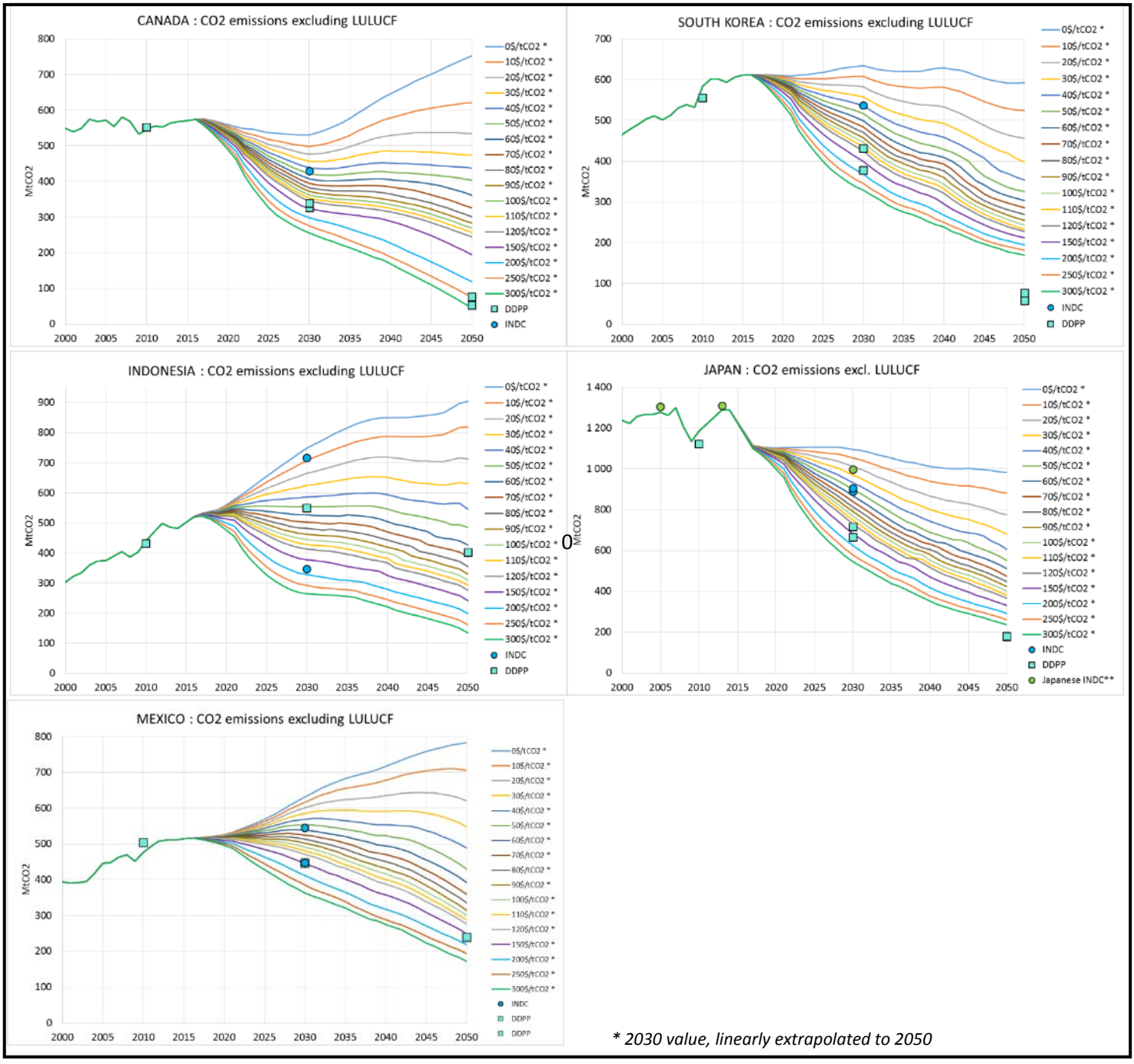
2.2.1 Pays pour lesquels l'introduction d'une valeur carbone permet l'atteinte des objectifs INDC

La première catégorie de pays qu'il est possible d'identifier regroupe donc les pays (et région pour l'UE) pour lesquels l'objectif INDC est atteint par l'une des valeurs carbone testées. Il s'agit de l'Union Européenne, des Etats-Unis, de la Chine, de l'Australie, du Canada, de la Corée du Sud, de l'Indonésie, du Japon et du Mexique. Les résultats diffèrent fortement selon les pays, et les valeurs carbone permettant d'atteindre les objectifs INDC vont ainsi de 10 à 150$/tCO2 selon les objectifs. L'encadré ci-dessous présente, pour chaque Partie, les émissions induites par les scénarios, les points de passage des objectifs INDC ainsi que les points de passage DDPP[23].

Encadré 3 - Emissions de CO2 des scénarios et objectifs INDC



[23] Les objectifs DDPP sont fournis à titre informatif dans ces graphiques de manière à situer des « fenêtres » de trajectoires d'émissions cohérentes avec une décarbonation profonde du système énergétique. Les objectifs DDPP seront étudiés plus en détails plus tard dans l'analyse.



** 2030 value, linearly extrapolated to 2050*

Le positionnement des objectifs INDC au regard des scénarios permet donc d'identifier les valeurs carbone implicites aux objectifs INDC. Celles-ci diffèrent fortement entre les pays. Le tableau ci-dessous en propose une synthèse

Tableau 20 - Valeurs carbone implicites aux INDC en 2030

	Scenarios leading to INDC targets	
	min	**max**
USA	20 $/tCO2	30 $/tCO2
EU28	40 $/tCO2	
China	20 $/tCO2	30 $/tCO2
Australia	20 $/tCO2	30 $/tCO2
Canada	40 $/tCO2	50 $/tCO2
Indonesia	10 $/tCO2	150 $/tCO2
Japan	50 $/tCO2	
Mexico	60 $/tCO2	150 $/tCO2
South Korea	40 $/tCO2	

2.2.2 Pays pour lesquels les objectifs ne sont pas atteints, y compris dans le scénario *BaU*

La seconde catégorie de pays comprend ceux pour lesquels les émissions de CO2 résultant de l'objectif INDC sont supérieures aux 17 valeurs carbone testées, y compris au scénario *BaU* qui utilise une trajectoire de valeur carbone nulle. Cela concerne :

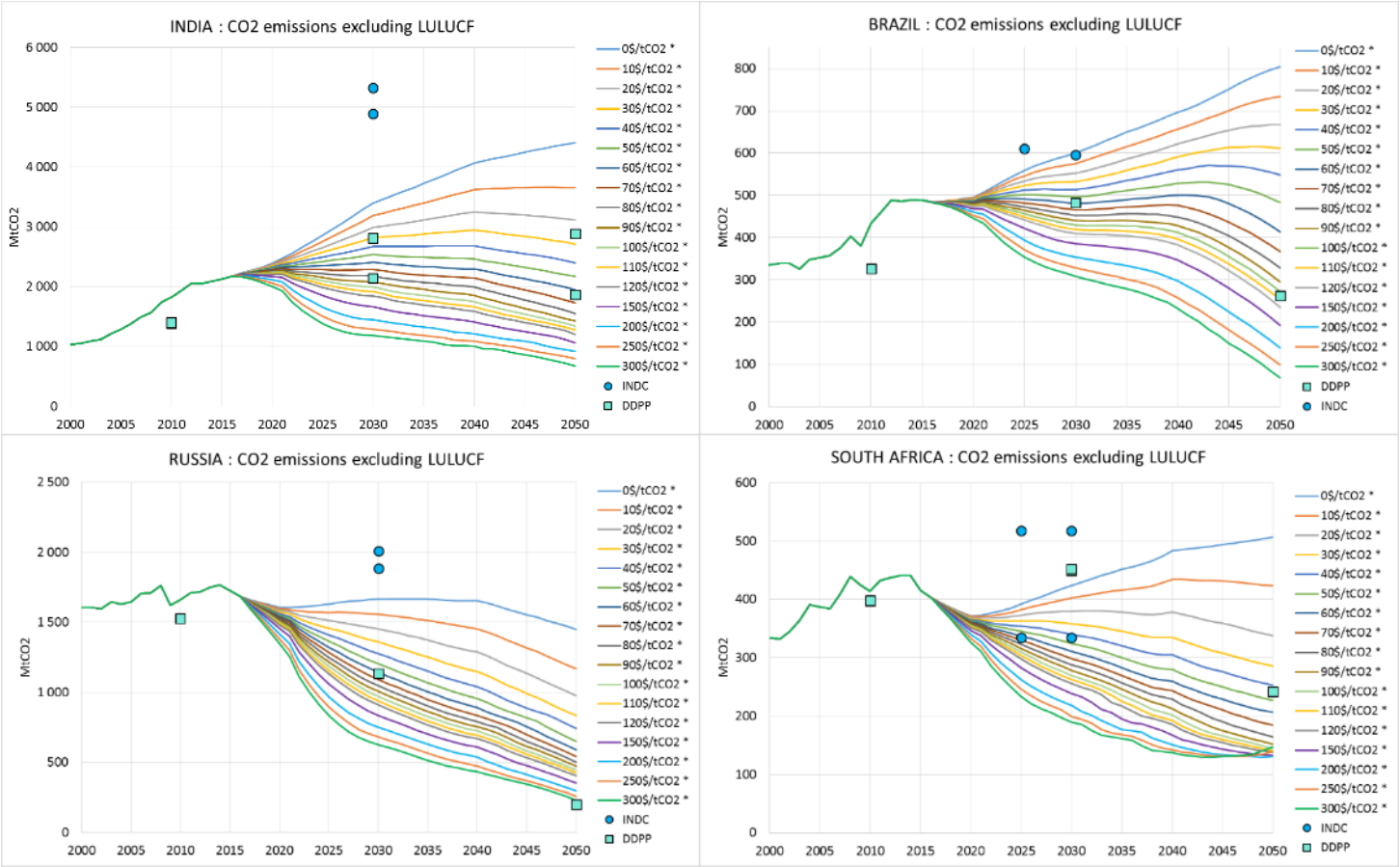
1. les objectifs de l'Inde et de la Russie,
2. l'objectif inconditionnel du Brésil (en 2025) [24], et
3. l'objectif proposant le niveau d'effort minimum (haut de la fourchette des émissions de l'INDC) de l'Afrique du Sud[25].

L'encadré ci-dessous montre les trajectoires d'émissions dans chacun des pays et pour chacune des valeurs du carbone testées, ainsi que chacun des objectifs INDC.

Il apparait alors pertinent de s'interroger sur les raisons pour lesquelles les simulations avec valeur du carbone nulle réalisées avec le modèle POLES conduisent à des trajectoires d'émissions inférieures à l'objectif de l'INDC pour ces pays.

[24] L'objectif conditionnel du Brésil (objectif pour l'année 2030) est atteint avec le scénario BaU (0$/tCO2).
[25] Les objectifs bas du *range* d'émissions de l'Afrique du Sud sont atteints avec les scénarios 50$/tCO2 (pour l'objectif 2030) et 60$/TCO2 (pour l'objectif 2025).

Encadré 4 - Positionnement des objectifs INDC au regard des scénarios pour les pays donc l'objectif INDC est supérieur au scénario BaU



* 2030 value, linearly extrapolated to 2050

2.3 Pays pour lesquels la valeur carbone implicite de l'INDC est nulle

Deux possibilités sont envisageables :

1. Les hypothèses implicites de croissance économique ayant servi à l'élaboration des INDC sont plus élevées que celles considérées dans les simulations réalisées avec POLES, conduisant ainsi à des trajectoires d'émissions de référence plus élevées que dans POLES.

2. les dynamiques de développement (notamment industriel) et de déploiement des services énergétiques dans POLES ne permettent pas de retranscrire les visions nationales spécifiques à chacun de ces pays conduisant à des trajectoires d'émissions de référence plus élevées que dans POLES.

Ne disposant pas de détails sur les hypothèses de PIB utilisées pour l'élaboration des INDC (en particulier pour l'Inde), ni des consommations énergétiques attendues à l'horizon des objectifs INDC, il n'a pas été possible d'effectuer une analyse comparative des scénarios INDC officiels des pays et des scénarios de POLES. Nous avons donc cherché à mener une analyse comparative de notre

scénario développé avec POLES et de scénarios nationaux qui soient à la fois élaborés par des institutions nationales et qui offrent un détail sectoriel de la consommation d'énergie. Les scénarios réalisés dans le cadre du projet DDPP présentent cette double caractéristique. L'objectif du DDPP[26] est de comprendre et montrer comment des pays peuvent s'engager individuellement dans une transition bas carbone et le monde s'engager collectivement dans la limitation du réchauffement climatique à 2°C. Ces scénarios offrent notamment une vision nationale de la dynamique des consommations énergétiques et de l'évolution d'indicateurs d'activité.

En rapport aux facteurs identifiés plus haut, l'analyse s'est structurée en deux temps. Le premier s'est intéressé aux hypothèses de PIB des différents scénarios (2.3.1.) La seconde étape a consisté à analyser les consommations sectorielles et les indicateurs d'activités des différents scénarios (2.3.2.).

2.3.1. Comparaison des hypothèses de PIB pour la modélisation avec POLES et des hypothèses de PIB mer dans les scénarios DDPP.

Pour mener à bien cet exercice, il a tout d'abord fallu transcrire les hypothèses de PIB des différents scénarios en une même unité. En effet ; les hypothèses de croissance économique utilisées dans le modèle POLES sont exprimées en *PPP* (US$2005) alors que celles de DDPP sont formulées en *MER* (US$2005), excepté l'Afrique du Sud dont les hypothèses semblent être exprimées en PPP.

Pour pouvoir comparer les hypothèses, il a été nécessaire de mettre en œuvre une méthodologie nous permettant d'établir les taux de conversion PPP/MER. La méthodologie qui a été mise en place repose sur la base de données Enerdata pour les données de PIB en MER et en PPP allant jusqu'en 2014, puis sur le rapport de PWC intitulé "*The World in 2050*" qui établit des projections de croissance en PPP et en MER de 2014 à 2050. Ces conversions nous conduisent aux taux de croissance exprimés en PPP décrits dans le tableau ci-dessous et que l'on peut comparer aux taux de croissance pris en compte dans le scénario réalisé avec POLES. Nous remarquons que les hypothèses de croissance après 2030 sont cohérentes entre les hypothèses introduites dans POLES et les hypothèses de croissance considérées dans DDPP par les équipes de modélisation nationales. Avant 2030, les TCAM considérés dans le scénario GICN sont significativement inférieures aux hypothèses considérées par les équipes nationales du DDPP pour le Brésil et la Russie. Le cas de l'Afrique du Sud est particulier avec une croissance plus modérée à moyen terme dans DDPP et plus forte après 2030.

Cependant, il s'avère possible que les hypothèses nationales de croissance considérées par les gouvernements pour élaborer leur INDC soient supérieures à celles utilisées dans les scénarios GICN, particulièrement pour les pays dont les taux de croissance 2010-2030 de DDPP s'avèrent être les plus élevés.

[26] Pour plus de détails sur le *Deep Decarbonization Pathway Project*, se référer au site web : http://deepdecarbonization.org/ (dernier accès le 23/11/2016).

Tableau 21 - Conversion des PIB DDPP exprimés (MER) en PPP et comparaison avec les hypothèses de taux de croissance prise dans GICN

Pays	Scénarios		TCAM MER		TCAM PPP	
			2010-30	2030-50	2010-30	2030-50
Inde	DDPP	IND1	8,0%	7,1%	6,1%	4,7%
		IND2	7,6%	6,9%	5,7%	4,5%
	GICN		-	-	**6,5%**	**4,4%**
Brésil	DDPP		3,6%	3,0%	3,4%	2,3%
	GICN		-	-	**1,8%**	**2,4%**
Russie	DDPP	RUS1	3,0%	1,9%	2,4%	0,6%
		RUS4	4,1%	2,2%	3,5%	1,0%
	GICN		-	-	**1,9%**	**0,6%**
Afrique du Sud	DDPP	ZAF1	-	-	2,6%	3,4%
		ZAF2	-	-	2,5%	3,2%
	GICN		-	-	**2,9%**	**2,8%**

2.3.2. Focus sur la consommation et les indicateurs d'activités sectoriel

Dans cette partie, nous allons un peu plus loin dans l'exploration des scénarios et des raisons qui pourraient expliquer le fait que les INDC pour l'Inde, le Brésil, l'Afrique du Sud et la Russie apparaissent comme non-ambitieuses. Pour cela, nous comparons les projections de différents indicateurs d'activités sectoriels des scénarios DDPP et du scénario 0$/tCO2. Ceci nous permet d'avoir une vision des dynamiques de développement derrière chacun des scénarios. Les évolutions entre 2030 et 2010 pour chacun des scénarios sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 22 - Indicateurs d'activités (2030/2010) dans les scénarios

		Transport passager	Transport marchandises	Résidentiel	VA Industrie
	Scénarios	Pkm (2030/2010)	Gtkm (2030/2010)	m2 (2030/2010)	VA Ind (2030/2010)
Inde	DDPP IND1	2,7	5,6	1,7	5,1
	DDPP IND2	2,5	4,8	1,6	4,7
	GICN	**2,3**	5,2	2,1	**4,2**
Brésil	DDPP BRA	2,0	2,3	1,2	1,9
	GICN	**1,5**	**2,1**	1,3	**1,1**
Russie	DDPP RUS1	2,0	1,8	1,1	1,8
	DDPP RUS4	2,1	1,8	1,2	2,2
	GICN	**1,3**	**1,4**	**1,1**	**1,6**
Afrique du Sud	DDPP ZAF1	1,3	2,5	na	1,7
	DDPP ZAF2	1,3	2,5	na	1,7
	GICN	1,6	**2,0**	1,4	1,7

NB: les chiffres en gras désignent les pays et secteurs pour lesquels les indicateurs d'activité sectoriels du scénario POLES (GICN) sont inférieurs à ceux des scénarios DDPP

Nous constatons que dans la plupart des cas, les projections des indicateurs d'activité dans le scénario réalisé avec POLES sont inférieures aux projections des équipes nationales DDPP. Ceci renforce l'hypothèse selon laquelle, l'élaboration des INDC dans ces pays pourrait s'être appuyée sur des visions du développement économique et sectoriel qui n'est pas pleinement cohérent avec les représentations dans le modèle POLES. Un approfondissement serait nécessaire pour bien comprendre les raisons de ces différentes dynamiques.

2.4 Conclusion

Le recours au modèle POLES a permis d'identifier les valeurs carbone implicites aux objectifs INDC des différents pays DDPP (tableau ci-dessous). Elles sont de niveaux très hétérogènes.

Tableau 23 - Récapitulatif des valeurs carbone implicites aux INDC

	CAV in 2030 leading to CO2 targets	
	min	**max**
USA	20 $	30 $
EU28	40 $	
China	20 $	30 $
India	< 0 $	
Australia	20 $	30 $
Brazil	< 0 $	= 0 $
Canada	40 $	50 $
Indonesia	10 $	150 $
Japan	50 $	
Mexico	60 $	150 $
Russia	< 0 $	
South Africa	< 0	60 $
South Korea	40 $	

Ce tableau met en évidence que certains pays ont des objectifs INDC dont les émissions sont supérieures aux scénarios *BaU.* Une analyse approfondie des trajectoires a montré que les raisons expliquant que les émissions des objectifs INDC de ces quatre pays soient supérieures au scénario avec une valeur carbone nulle et donc au scénario BAU réalisé avec POLES peut provenir du fait que:

1. les visions nationales développées dans les pays correspondent à des hypothèses de croissance économique plus optimistes que dans les hypothèses adoptées dans les travaux de simulation POLES. Ceci peut être notamment le cas pour le Brésil et la Russie.
2. Les visions nationales développées dans les pays conduisent de manière quasi-systématique à des dynamiques sectorielles beaucoup plus fortes que dans les scénarios développés avec le modèle POLES, comme l'a montré la comparaison d'indicateurs sectoriels entre les visions nationales des scénarios DDPP et les scénarios réalisés avec le modèle POLES. Ceci est particulièrement le cas pour le secteur industriel.

Ainsi, il est possible que les hypothèses de développement économique et sectoriel sous-jacentes aux visions nationales des INDC conduisent à des émissions de référence plus élevées que celles évaluées avec le modèle POLES. Ceci pourrait expliquer le hiatus entre niveau d'émission des INDC et valeurs du carbone nulles trouvées pour l'Inde, la Russie, le Brésil et l'Afrique du Sud.

3 Des INDC aux objectifs de long-terme

Les INDC sont les contributions de chacun des pays en terme de réductions d'émissions à l'Accord de Paris dont l'objectif est de limiter en deçà de 1,5°C/2°C d'ici la fin du siècle le réchauffement climatique. Nous étudions dans quelle mesure ces objectifs nationaux sont cohérents avec des objectifs de plus long terme en 2050. Les objectifs nationaux 2050 utilisés sont ceux des scénarios DDPP qui sont en cohérence avec un objectif de décarbonation profonde de l'économie[27].

Nous avons ainsi comparé la poursuite de l'effort que représente l'atteinte de l'INDC en 2030 jusqu'en 2050 avec les « fenêtres » d'émissions des objectifs DDPP en 2050. La poursuite de l'effort est approximé par la prolongation des trajectoires de valeurs carbone des INDC au-delà de 2030.

Un scénario INDCext a ainsi été construit (*cf.*3.1.) et a permis d'identifier des résultats contrastés sur les émissions *post*-2030 des pays (*cf.*3.2.).

3.1 Création du scénario INDCext

L'exercice précédent a permis d'identifier les valeurs carbone correspondant aux objectifs INDC dans des scénarios utilisant des valeurs mondiales du carbone.

Ces résultats ont permis de créer un scénario INDCext pour les pays DDPP. Ce scénario utilise le modèle POLES et conserve les mêmes hypothèses que précédemment, excepté celles de valeurs carbone.

Les hypothèses de valeur carbone ne sont plus des valeurs mondiales du carbone, mais des valeurs déterminées pour chaque pays ou région. Elles ont été fixées de manière à ce que les trajectoires d'émissions induites passent par les objectifs « hauts » des INDC (*minimum effort*).

Il est important de noter que les valeurs carbone identifiées dans l'exercice précédent ne sont pas nécessairement identiques aux valeurs carbone utilisées nationales dans le scénario INDCext du fait notamment des effets des valeurs carbone dans les différents scénarios sur le prix des énergies fossiles.

Ainsi l'élaboration du scénario INDCext a nécessité l'ajustement des valeurs nationales du carbone par rapport aux trajectoires endogènes de prix des énergies fossiles qui résultent de la mise en œuvre de ces prix du carbone nationaux. Les graphiques et tableaux ci-dessous présentent les trajectoires de valeurs carbone nationales utilisées pour chaque pays dans le scénario INDCext.

[27] Pour plus de détails sur le *Deep Decarbonization Pathway Project*, se référer au site web : http://deepdecarbonization.org/ (dernier accès le 23/11/2016).

Figure 7 - Trajectoires de valeurs carbone utilisées dans le scénario *global INDCext*

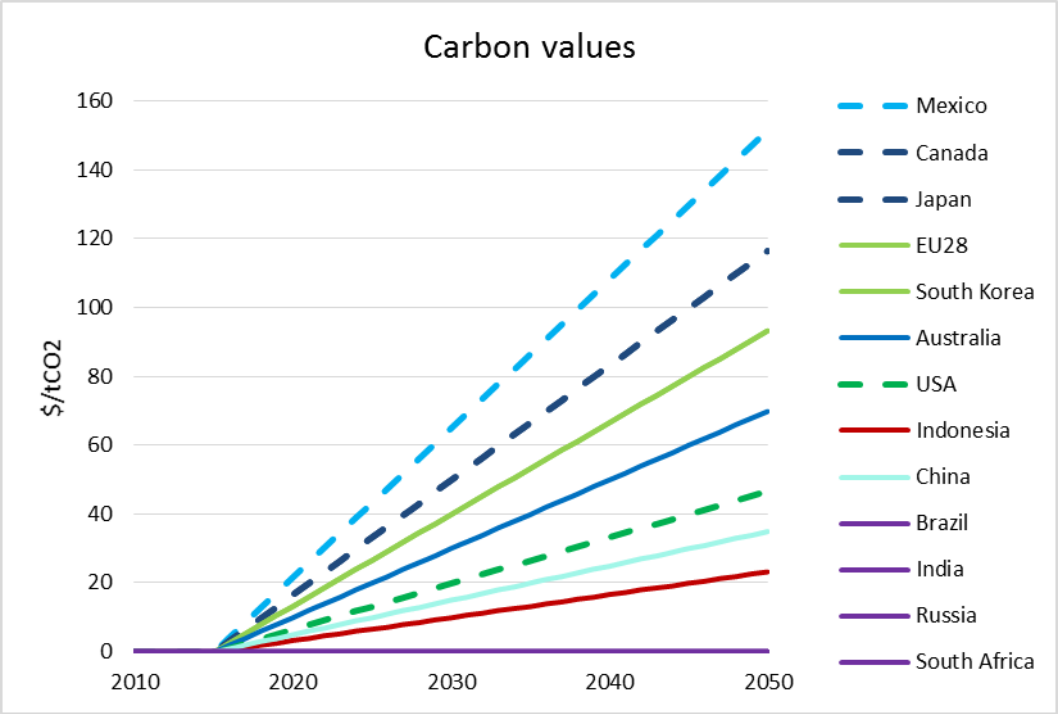


Tableau 24 - Valeurs carbone utilisées dans le scénario *global INDCext*

CAV ($/tCO2)	2025	2030	2050
USA	13	**20**	47
EU28	26	**40**	93
China	10	**15**	35
India	0	**0**	0
Australia	20	**30**	70
Brazil	0	**0**	0
Canada	33	**50**	116
Indonesia	7	**10**	23
Japan	33	**50**	116
Mexico	43	**65**	152
Russia	0	**0**	0
South Africa	0	**0**	0
South Korea	26	**40**	93
Others	0	**0**	0

Les valeurs carbone nationales utilisées pour le reste du monde sont nulles. Celles-ci ne reflètent volontairement pas les engagements pris par les autres Parties dans l'accord de Paris, mais font l'hypothèse que les émissions suivront une tendance *BaU* dans le reste du monde, ce qui permet

d'évaluer l'impact global que pourrait avoir la réalisation des seuls engagements des 13 parties étudiées sur les émissions mondiales.

3.2 Résultats

Comparaison avec d'autres études des valeurs carbone implicites en 2030

D'autres exercices de ce type ont été réalisés: l'étude GECO 2016 dont les hypothèses ont été présentées plus haut et des simulations[28] réalisées avec le modèle AIM/CGE du *National Institute for Environmental Studies* (NIES). Ce dernier scénario a été réalisé avec le modèle AIM/CGE qui est un modèle d'équilibre global à simulation récursive dont les hypothèses socio-économiques ; notamment PIB[29], population, et technologies ; ont été introduites de manière exogène et sont les déterminants des émissions de GES des scénarios. Les prix du carbone sont utilisés comme une variable complémentaire pour introduire une contrainte sur une région et atteindre les objectifs des INDC. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs carbone requises à l'atteinte des objectifs des contributions dans ces 3 scénarios INDC.

Certains points de convergence apparaissent concernant les 4 pays pour lesquels les émissions de référence du scénario GICN sont inférieures à l'objectif INDC:

1. le fait que la valeur carbone implicite à l'INDC indienne est nulle se retrouve dans les trois scénarios;
2. notre résultat sur la valeur implicite de l'INDC russe est également confirmé par l'étude du NIES.
3. Pour l'Afrique du Sud, l'évaluation de GECO 2016 est identique à celle du GICN et l'étude NIES estime une valeur carbone très basse.
4. Pour le Brésil, les estimations du GICN et du GECO 2016 ne sont pas très différentes, celle du NIES est supérieure (12,5$/tCO2). Cela peut provenir du fait que la contrainte dans le modèle AIM est introduite en tout gaz alors que dans GICN, l'objectif est traduit en CO2 énergétique seul.

Les résultats pour la Chine sont plus divergents, puisque l'étude NIES traduit l'INDC chinoise par une valeur carbone nulle, GECO2016 une valeur carbone à 29$/tCO2 et INDCext une valeur intermédiaire à 15$/tCO2.

Pour la majorité des autres pays pour lesquels la comparaison est possible (Canada, Australie Japon), globalement les estimations du scénario GICN et de GECO 2016 sont assez proches, alors que l'étude NIES projette des prix implicites du carbone systématiquement un peu plus élevés. Ceci peut provenir du périmètre tout gaz de l'objectif INDC implémenté dans l'étude NIES ainsi que des hypothèses de croissance du PIB exogène qui proviennent des hypothèses SSP2 dans l'étude NIES.

Pour les USA et l'Union européenne, la valeur du carbone implicite obtenue par INDCext est relativement plus faible que les autres études.

[28] Fujimori S., *et al.*, "Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement ?", *Environmental Research Letters,* n.11 (2016)

[29] Les hypothèses de PIB utilisées sont celles du scenario SSP2 de l'IIASA (*cf.* IIASA, 2012, *shared socioeconomic Pathways (SSP), database version 0.9.3)*

Tableau 25 - Valeurs carbone des INDC dans 3 scénarios

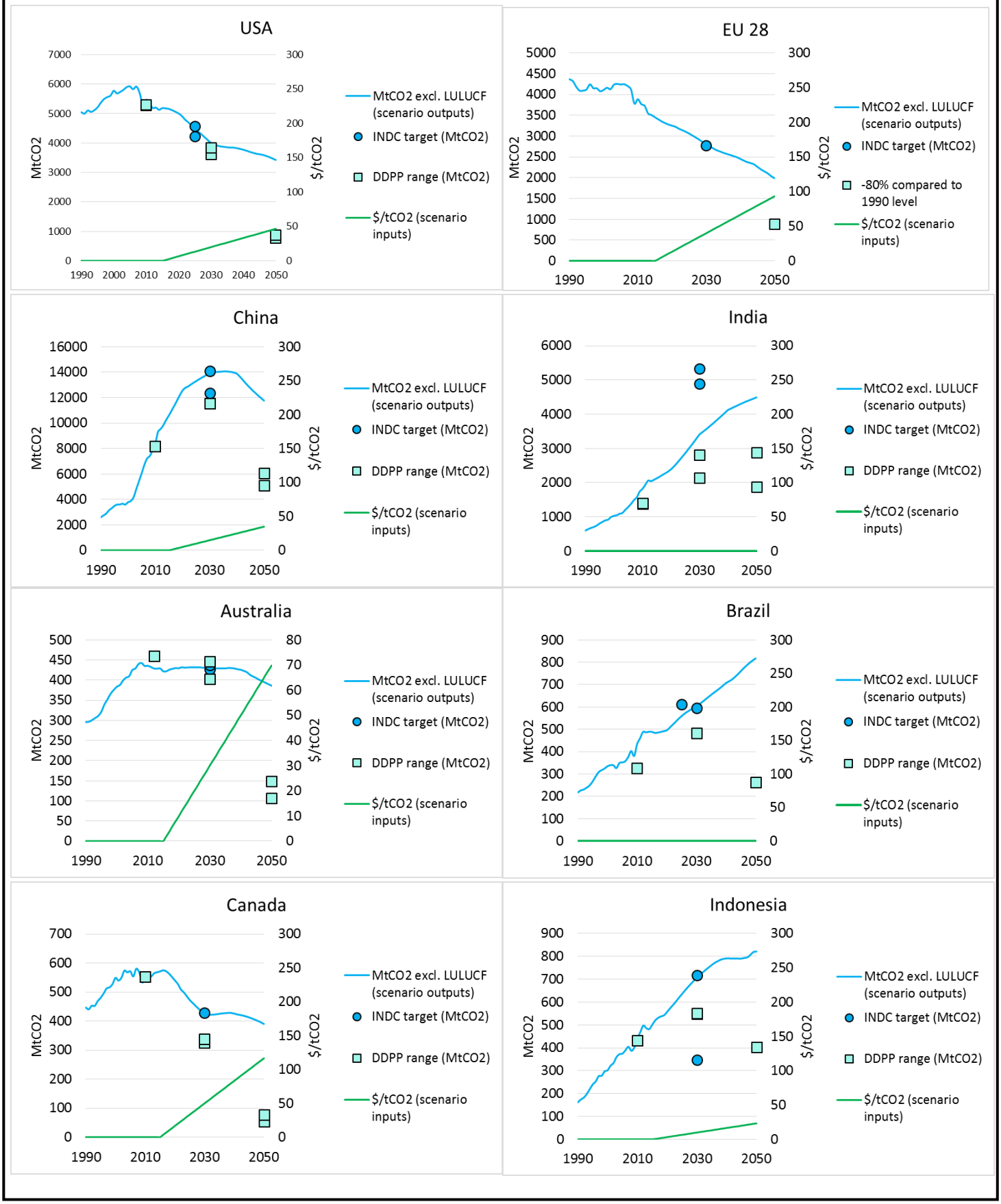
Countries	Global INDCext (GICN)		INDC scenario (GECO 2016)		INDC scenarios (NIES)	
	Carbon values in 2030 $/tCO2	Rank (/13)	Carbon values in 2030 $/tCO2	Rank (/8)	carbon values in 2030 $/tCO2 (approximate data)	Rank (/10)
USA	20 (73 in 2025)	1	na (53 in 2025)	1	94	1
EU28	40	6	53	2	94	1
China	15	7	29	5	0	last
India	0	last	0	last	0	last
Australia	30	5	32	4	62,5	3
Brazil	0 (0 in 2025)	last	na (5 in 2025)	7	12,5	5
Canada	50	3	42	3	56	4
Indonesia	10	8	na	na	na	na
Japan	50	3	na	na	74	2
Mexico	65	2	na	6	na	na
Russia	0	last	na	na	0	last
South Africa	0	last	na	na	4	6
South Korea	40	4	na	na	na	na

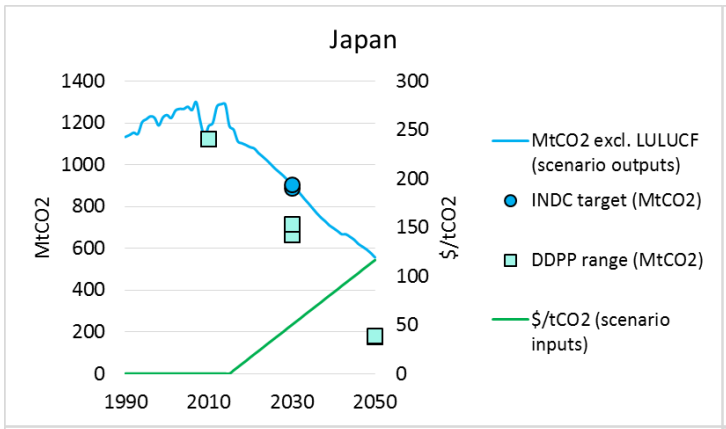
Poursuite de l'effort correspondant aux INDC et passage par la « fenêtre » DDPP à long-terme

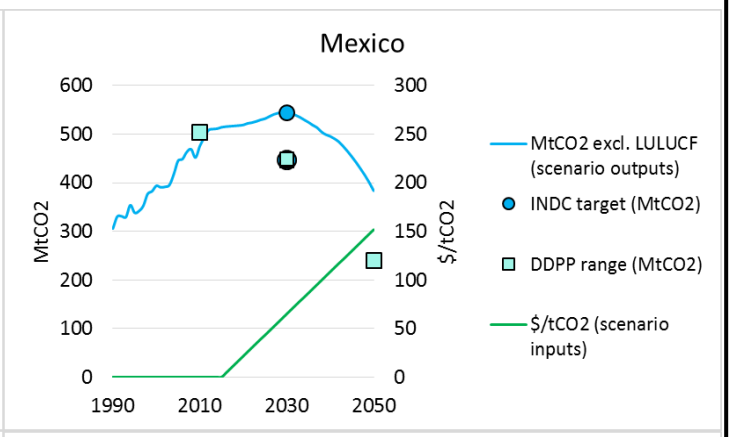
Les trajectoires d'émissions du scénario INDCext jusqu'en 2050 sont décrites dans l'encadré 5 et permet de situer ce scénario par rapport aux objectifs des pays dans le cadre du projet DDPP. Le premier constat est qu'aucune des trajectoires nationales induites par les prix du carbone implicites aux INDC ne permet d'atteindre l'objectif de long terme des scénarios DDPP en 2050.

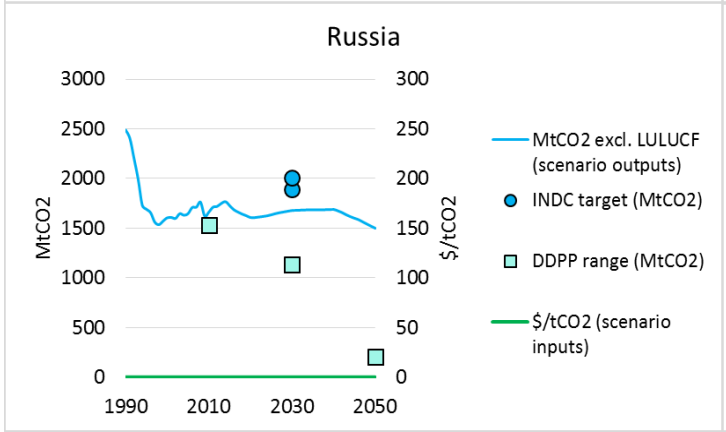
Pour certains pays, ce résultat n'est guère étonnant puisque le point de passage DDPP en 2030 est déjà bien inférieur à l'INDC (Inde, Brésil, Japon, Canada, Russie, Corée du Sud) ou à la borne haute de l'INDC (Chine, Indonésie, Mexique). Pour ces pays, la réalisation des objectifs inscrits dans le cadre du DDPP nécessiterait une hausse de l'ambition dès 2030. Pour les pays restants (Etats-Unis, UE, Australie, Afrique du Sud), un renforcement de l'effort par rapport aux trajectoires nationales de valeur carbone est nécessaire durant la période 2030-50.

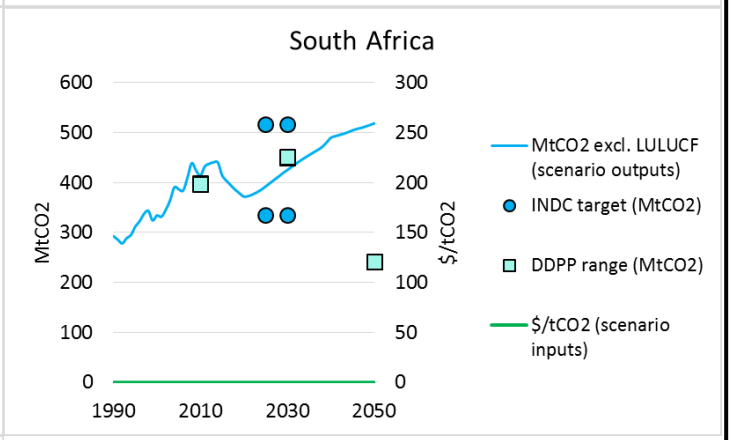
Encadré 5 - Emissions de CO2 du scénario INDC et objectifs DDPP

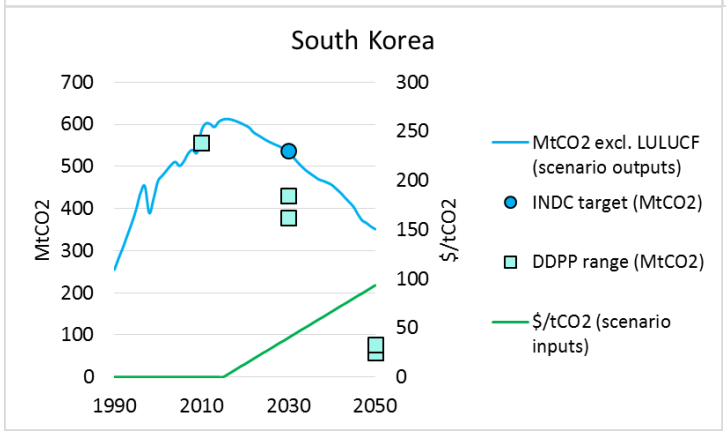












*Pays pour lesquels les objectifs INDC les plus ambitieux, au moins, ne sont pas atteints

Les trajectoires linéaires de valeur carbone permettant l'atteinte de l'objectif DDPP en 2050 peuvent également être déduites des encadrés 3 et 4. Cette lecture permet de comparer les valeurs carbone en 2030 implicites aux INDC et celles requises atteindre les objectifs de réduction des émissions inscrits dans les scénarios DDPP. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs carbone nécessaires à l'atteinte des objectifs INDC, d'une part ; et DDPP, d'autre part. L'identification des valeurs carbone implicites à ces objectifs dans le jeu de 17 scénarios avec VMC reflète l'écart relativement important entre les objectifs INDC et DDPP.

Tableau26: Valeurs carbone implicites aux INDC en 2030 et aux objectifs de réduction des émissions inscrits dans les scénarios DDPP en 2030 et 2050.

$/tCO2	Prix carbone implicite de l'INDC en 2030		Prix carbone compatible avec l'objectif DDPP en 2050	
	Min	Max	En 2030	En 2050
EU28	40		250	580
USA	20	30	200	470
Chine	20	30	70-100	160-230
Australie	20	30	150-200	350-470
Canada	40	50	250-300	580-700
Corée du Sud	40		>300	>700
Indonésie	10	150	90	210
Japon	50		300	700
Mexique	65	150	150-200	350-470
Inde	0		25-60	60-140
Brésil	0		110	260
Russie	0	0	300	700
Afrique du Sud	0	60	45	105

Pics d'émissions avant 2050

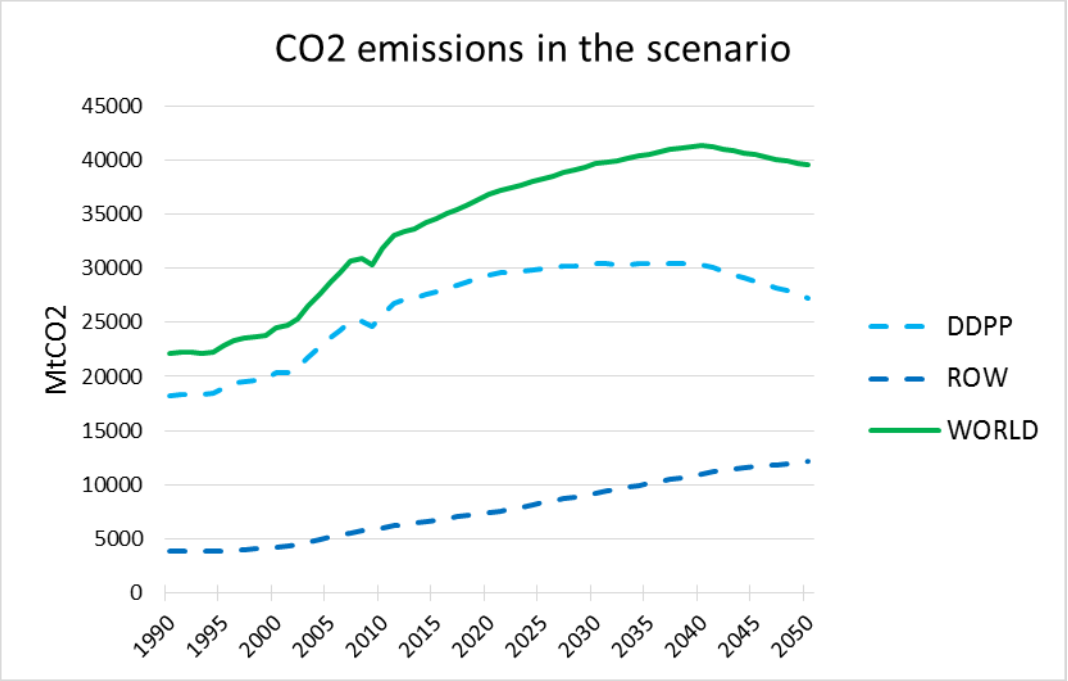
Nous décrivons dans le scénario INDCext les tendances des trajectoires nationales d'émissions dans les périodes *pré* et *post* 2030, en mettant l'accent sur la date d'un pic des émissions nationales:

- Les Etats-Unis, l'Union Européenne et le Japon poursuivent une tendance à la baisse des émissions de CO2 qui a déjà commencé en 2015;
- Pour la Chine, l'Australie, le Mexique, la Corée du Sud et le Canada, l'atteinte de l'objectif INDC conduit à un pic d'émissions de CO2 avant 2050 ; respectivement en 2037 pour la Chine, 2040 pour l'Australie, 2029 pour le Mexique, 2017 pour la Corée du Sud et 2017 pour le Canada. Pour ces pays, le maintien de l'effort après 2030 requis à l'atteinte de l'INDC permet donc d'entamer une baisse des émissions;
- Pour l'Indonésie, le maintien des efforts menant aux objectifs INDC mène inévitablement à une croissance des émissions de CO2, sans pic d'émissions.
- Pour l'Inde, le Brésil, la Russie et l'Afrique du Sud qui présentent la particularité d'atteindre en 2030 des émissions inférieures à l'objectif INDC sans prix du carbone, les tendances d'émissions après 2030 restent à la hausse sans prix du carbone.

Emissions agrégées

A plus grande échelle, il apparait que les émissions agrégées des pays DDPP dans ce scénario n'aboutissent à un pic d'émissions de CO2 qu'en 2040 (*cf.* graphique ci-dessous). D'autre part, les émissions de CO2 du reste du monde poursuivent une tendance des émissions à la hausse avec l'hypothèse d'une valeur carbone nulle dans ces pays (0$/tCO2) sur toute la période.

Figure 8 - Emissions mondiales dans le scénario INDCext



3.3 Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer le degré d'effort spécifique à chacune des INDC proposées par les 13 pays (ou région pour l'UE) les plus émetteurs de GES en en évaluant la valeur carbone implicite, ainsi que la compatibilité des INDC avec des objectifs de plus long terme à l'horizon 2050.

Dans le scénario INDCext, à l'horizon 2030, l'INDC du Mexique apparaît être le plus ambitieux avec la valeur carbone la plus élevée (65$). Les INDC du Canada et du Japon nécessiteraient le même niveau d'effort (50$), ainsi que l'Union européenne et la Corée du Sud (40$). Les Etats-Unis et la Chine proposent un niveau d'effort proche (respectivement 20$ et 15$) alors que les INDC du Brésil, de l'Inde, de la Russie et de l'Afrique du Sud ne requerraient aucun effort spécifique en termes de limitation des émissions de CO2 par rapport à un scénario BAU (0$ et inférieur). L'ensemble de ces résultats semble relativement cohérents avec les autres exercices de modélisation ayant cherché à évaluer les valeurs implicites du carbone des INDC.

D'autre part, le constat que 4 pays auraient des INDC ne représentant aucune contrainte sur les trajectoires d'émissions nous a néanmoins conduits à en analyser plus en profondeur les raisons. Pour cela, nous avons recherché d'éventuelles différences entre les exercices de modélisation

réalisés avec les modèles globaux utilisés (POLES, AIM dans ce cas) et des trajectoires de décarbonation nationales produites par des équipes de recherche nationales. Les scénarios nationaux issus du projet DDPP ont été analysés, puisque l'objectif du projet est de comprendre et montrer comment des pays peuvent s'engager individuellement dans une transition bas carbone et le monde s'engager collectivement dans la limitation du réchauffement climatique à 2°C.

Ceci a permis de montrer à la fois que des hypothèses de croissance économique plus fortes sur le moyen terme et des visions du développement conduisant à des dynamiques sectorielles plus élevées que dans le modèle POLES peuvent constituer un premier éclairage. Les scénarios nationaux pour la Russie, l'Inde, l'Afrique du Sud et le Brésil projettent des dynamiques sectorielles qui conduiraient à une plus forte demande d'énergie finale et dans un scénario de référence à des trajectoires d'émissions plus élevées. Ainsi, il est possible que les visions des dynamiques sectorielles ayant servi à l'élaboration des INDC pour ces pays suivent ce constat.

A plus long-terme, la prolongation des tendances de prix implicites nationaux du carbone jusqu'en 2050 ne permet pas du tout d'atteindre une trajectoire globale d'émissions compatible avec le 2°C. Un pic d'émission ne serait alors atteint qu'en 2040. Un renforcement important des efforts de réduction avant 2030 apparaît nécessaire pour permettre d'atteindre l'objectif global de limiter la hausse des températures à 1,5 ou 2°C.