

MOTS CLES

COP21

INDC

Long terme

CONTRIBUTIONS NATIONALES ET TRAJECTOIRES DE DECARBONATION PROFONDE : UNE APPROCHE PRAGMATIQUE

Par Patrick Criqui* et Sandrine Mathy*

.....

Prenant le contrepied de l'approche top-down qui prévalait jusqu'à la conférence de Copenhague, l'Accord de Paris est construit sur une approche bottom-up dans laquelle les Etats sont libres de fixer leurs propres objectifs de décarbonation au travers de contributions intentionnelles déterminées nationalement (CIDN). Ce texte présente pour les 13 pays les plus émetteurs de gaz à effet de serre, représentant 75% des émissions mondiales, la valeur carbone implicite à chacune de ces contributions à l'horizon 2030. Celles-ci sont comparées aux valeurs carbone implicites aux niveaux d'émissions nationales de long terme du projet Deep Decarbonization Pathways (DDP) qui a permis l'élaboration de trajectoires nationales compatibles avec une trajectoire globale de 2°C. Pour chaque pays, l'écart entre la valeur implicite du carbone des CIDN et celle des niveaux d'émissions du projet DDP est considérable. Cela montre bien que l'ambition des contributions nationales devra être fortement révisée à la hausse dans les prochains cycles de négociation. Nous soulignons également le rôle central que sont amenées à jouer les trajectoires nationales de long terme de décarbonation dans la définition des CIDN pour assurer que les contraintes du moyen terme des CIDN soient cohérentes avec les options du long terme intégrant l'objectif de 2°C.

.....

Chaire Economie du
Climat

Palais Brongniart,
4ème étage

28 place de la Bourse

75002 PARIS

* GAEL, CNRS, Grenoble INP, INRA, Université Grenoble-Alpes, 38400 Saint Martin d'Hères, France

This page is intentionally blank - Cette page est laissée vide intentionnellement

A pragmatic approach to the implementation of the Paris Agreement: the role of INDCs and Deep Decarbonization Pathways

Patrick Criqui^a, Sandrine Mathy^a

^a GAEL, CNRS, Grenoble INP, INRA, Université Grenoble-Alpes, 38400 Saint Martin d'Hères, France

*Pragmatism, as a philosophical tradition [...], consider(s)
thought an instrument or tool for prediction, problem solving and action.*

Wikipedia

Les six années qui ont séparé l'échec de Copenhague du succès de l'Accord de Paris ont été marquées par un changement radical dans la manière de concevoir les modalités de la construction, comme de la mise en œuvre d'un accord international sur le climat. Ce changement est le plus souvent décrit comme le passage d'une approche top-down à une approche bottom-up de la fixation des objectifs et des engagements des partie-prenantes à la négociation (cf. supra l'article de Teresa Ribeiro). Il renvoie également à un renouvellement des construits intellectuels qui ont contribué à l'avancée puis au succès de la négociation et qui pourront dans le futur contribuer à une mise en œuvre performante de l'accord.

Dans ce changement de paradigme, le concept de Contribution Intentionnelle Déterminée Nationalement (CIDN) a permis de créer l'espace dans lequel les Etats ont été libres de fixer leurs propres objectifs pour le moyen terme. Un deuxième concept-clé, celui de Trajectoire de Décarbonation Profonde (TDP), bien que moins institutionnalisé, a constitué un outil efficace pour décrire préalablement comment ces objectifs de moyen terme étaient susceptibles de s'inscrire dans une perspective plus longue répondant, même imparfaitement, à des scénarios globaux tels qu'étudiés en particulier par le GIEC. Ces deux concepts ont donc constitué des outils différents mais complémentaires pour une approche pragmatique de l'accord à la COP21. Si cet accord se consolide dans les prochaines années, nul doute qu'ils joueront un rôle non moins important dans sa mise en œuvre et dans les prochains cycles de négociation.

C'est donc d'une double "fonction pragmatique" que sont investis ces concepts : à la fois pour la construction mais aussi pour la mise en œuvre de l'accord de Paris. Leur importance présente et future dans le régime international sur le climat justifie que l'on se penche sur leur genèse, leur mode de production, les synergies qui les articulent, enfin la manière dont ils pourront être instrumentalisés dans l'évolution future du régime.

Du "triolet de Kyoto" aux Contributions Intentionnelles Déterminées Nationalement

Pour comprendre en quoi le concept de Contribution Nationale Intentionnelle a constitué une rupture dans le processus de la négociation et plus, un véritable changement de paradigme, il convient de revenir aux caractéristiques structurelles de l'ancien paradigme. Après la signature du Protocole de Kyoto en 1997, la structure de la négociation était donnée par le triptyque "*Global Cap + Burden Sharing + Emission Trading*" :

1. Dans un premier temps, le Protocole de Kyoto stipulait que les pays de l'Annexe B (les pays développés) devraient respecter un objectif collectif de réduction des émissions par rapport

à leur situation de départ (-5% / 1990) ; dans les années qui suivirent, la réflexion s'est engagée sur les modalités d'extension du dispositif aux autres pays, ceux du sud, à travers un plafond global.

2. Le partage du fardeau, même si ce terme n'était pas utilisé dans les textes officiels, devait permettre de répartir l'enveloppe globale entre les différents pays, par des engagements contraignants de réduction par rapport à 1990 et à partir de principes explicites ou implicites d'équité internationale.
3. Enfin, les mécanismes de flexibilité introduits dès le Protocole de Kyoto (avec notamment un marché international des quotas et des opérations de "mise en œuvre conjointe" des réductions d'émission) devaient permettre, à partir d'un partage de l'effort supposé équitable mais pas immédiatement efficace, de retrouver par des échanges de quotas l'efficacité économique globale de l'action.

On peut noter d'une part que ce schéma a été plus tard, au début des années 2000, au cœur du dispositif européen de construction du système d'échange de quotas, l'Emission Trading System pour les grandes industries et le secteur électrique. Et que d'autre part au plan international, tous les efforts des négociateurs du Nord ont été mobilisés par la volonté d'étendre le système Kyoto aux pays en développement et émergents, les pays non-Annexe B. Cela jusqu'à l'échec de Copenhague en 2009. On doit souligner que le schéma proposé alors était largement le fruit de la réflexion des économistes, en particulier parce qu'il permettait en théorie de réconcilier l'équité internationale – entendue avant tout comme une traduction de l'acceptabilité par les différentes parties – et l'efficacité économique par l'égalisation des coûts marginaux de réduction sur le marché des quotas (Grubb, 1989).

Cette construction intellectuelle, conforme aux enseignements de la théorie économique, avait déjà été fragilisée par le retrait américain après l'arrivée au pouvoir de Georges Bush Jr. en 2001. Elle s'est simplement fracassée à Copenhague lorsqu'il est apparu que, malgré la présence plus bienveillante de Barack Obama, il serait impossible de faire rentrer les pays en développement dans le "triptyque de Kyoto". Certains ou certaines¹ ont immédiatement pris conscience de la nouvelle donne ainsi créée : les pays en développement étaient prêts à embarquer, mais pas dans des conditions qui leur paraîtraient trop contraires à leurs propres intérêts. En particulier, leurs engagements doivent découler d'un processus volontaire (intentionnel).

Il restait à expliciter et formaliser le changement complet de perspective pour la négociation, d'un schéma "descendant" vers un schéma "ascendant". C'est après la COP17 en 2011, que les travaux du Groupe de travail ad hoc pour la plateforme de Durban (ADP) débouchent sur l'indication selon laquelle les Parties à la négociation devront communiquer dans le premier trimestre de 2015, soit en avant de la COP21, leurs Contributions Intentionnelles Déterminées Nationalement pour l'après 2020.

Les Trajectoires de Décarbonation Profonde, comme support pour la définition des CIDN

Les nouvelles perspectives ainsi créées constituent une incontestable innovation. Cependant le dispositif des CIDN souffre encore de trois limitations : premièrement la manière dont les contributions nationales doivent être définies n'est pas formellement précisée (périmètre des émissions considérées, émissions mesurées en valeur absolue ou relative au PIB ou encore par rapport à une projection de référence, part des énergies renouvelables...) ; deuxièmement, l'horizon

¹ Voir, au lendemain de la COP 15, les déclarations de Laurence Tubiana, future ambassadrice climat de la France pour la COP21, notamment dans le film documentaire « Copenhague, chronique d'un accord inachevé » qui a suivi Laurence Tubiana pendant les neuf mois de négociations précédant la conférence de Copenhague.

retenu n'est pas spécifié a priori et il ne couvre pas l'horizon de temps habituellement considéré par les scénarios d'émission à long terme, le plus souvent 2050. Les scénarios ou trajectoires nationales de décarbonation vont alors jouer un rôle important pour, au cas par cas, contribuer à la définition des CIDN ; enfin, dans l'approche ascendante (*bottom-up*) rien ne garantit que la somme des contributions individuelles réponde aux contraintes globales.

Les modèles d'évaluation intégrée (Integrated Assessment Models ou IAMs en anglais) avaient constitué les outils privilégiés pour l'évaluation du triptyque de Kyoto et des efforts menés pour son extension à l'ensemble des pays du monde ; ils permettaient en effet d'étudier les solutions optimales ou économiquement efficaces par l'introduction de systèmes unifiés de prix du carbone ou de marchés de quotas (Barker et al., 2007). La mise en place de la logique des CIDN fait porter l'attention sur les perspectives nationales et mobilise donc d'autres outils de réflexion. De multiples études permettent de documenter des scénarios nationaux pour l'énergie et les émissions sur le long terme. Mais quelques études internationales entreprennent une réflexion combinant des éléments communs de méthodologie et des méthodes ou modèles nationaux différents. Parmi celles-ci, le projet *Deep Decarbonization Pathways* revêt une importance particulière dans la préparation de la négociation de la COP21 (Bataille et al., 2016). Lancé à l'automne 2013 il vise explicitement à fournir une "vision" de ce que peut être un futur viable dans les plus grands pays émetteurs, y-compris les plus dépendants des énergies fossiles².

Auparavant, début 2013, la France (futur pays hôte de la COP21) avait engagé un Débat National sur la Transition Énergétique dans la perspective de l'élaboration d'une loi de transition (Criqui, 2014). S'inspirant de cette expérience, le projet DDPP est conçu autour de quelques principes et lignes directrices communes³ : la nécessité de conduire un effort de décarbonation profonde des systèmes énergétiques, avec un point focal à 1,7 tCO₂/hab pour l'après 2050 ; celle d'explorer conjointement les trois dimensions stratégiques que sont l'amélioration de l'efficacité énergétique, la décarbonation quasi-complète du secteur électrique, enfin les transferts d'usage vers les vecteurs décarbonés au premier rang desquels l'électricité. Les trajectoires sont produites par des équipes nationales reconnues en termes académiques, à la fois indépendantes et ayant l'écoute de leur gouvernement.

Enfin, la méthodologie pour la construction des scénarios reste ouverte (avec ou sans modèle énergie-économie complet), mais en revanche un format commun de reporting est imposé à toutes les équipes afin de fournir un cadre de cohérence et de comparabilité des résultats. Dès l'issue de la première phase des travaux, fin 2014, 16 pays représentant près des trois quart des émissions énergétiques mondiales disposent d'une vision de ce que pourrait être un avenir largement décarboné à l'horizon 2050... On ne peut considérer que les trajectoires de décarbonation profonde ont directement inspiré les CIDN qui demeurent en règle générale plus prudents. Mais ils en constituent d'utiles prolongements, procurant ainsi une perspective plus ambitieuse...

Visions des contraintes du moyen terme dans les CIDN et des options du long terme dans les Trajectoires de Décarbonation Profonde

Avant le début de la négociation à Paris le fait de disposer d'un ensemble presque complet de CIDN constituait déjà un succès (

² Les seize pays sont l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Angleterre, l'Australie, le Brésil, le Canada, la Chine, la Corée du Sud, la France, l'Italie, l'Inde, l'Indonésie, le Japon, le Mexique, la Russie, et les Etats-Unis.

³ Le projet est lancé par Jeffrey Sachs et le Sustainability Development Solutions Network et par Laurence Tubiana de l'IDDRI. Celle-ci avait présidé le comité de pilotage du DNTE en France et assure le transfert d'expérience, par exemple avec le concept de "tableau de bord de la transition" sous forme de tableaux chiffrés standardisés.

Tablea 1). Dans les semaines précédant l'ouverture de la COP les débats au sein des communautés scientifiques et politiques ont évidemment porté sur le fait de savoir si les CIDN ainsi recensés permettaient ou non d'atteindre l'objectif jusqu'alors reconnu d'un réchauffement limité à 2°C.

Tableau 1: Récapitulatif de la formulation de l'objectif de limitation des émissions de GES dans les CIDN des 13 pays ou régions les plus émetteurs de GES, représentant en agrégé environ 75% des émissions mondiales actuelles.

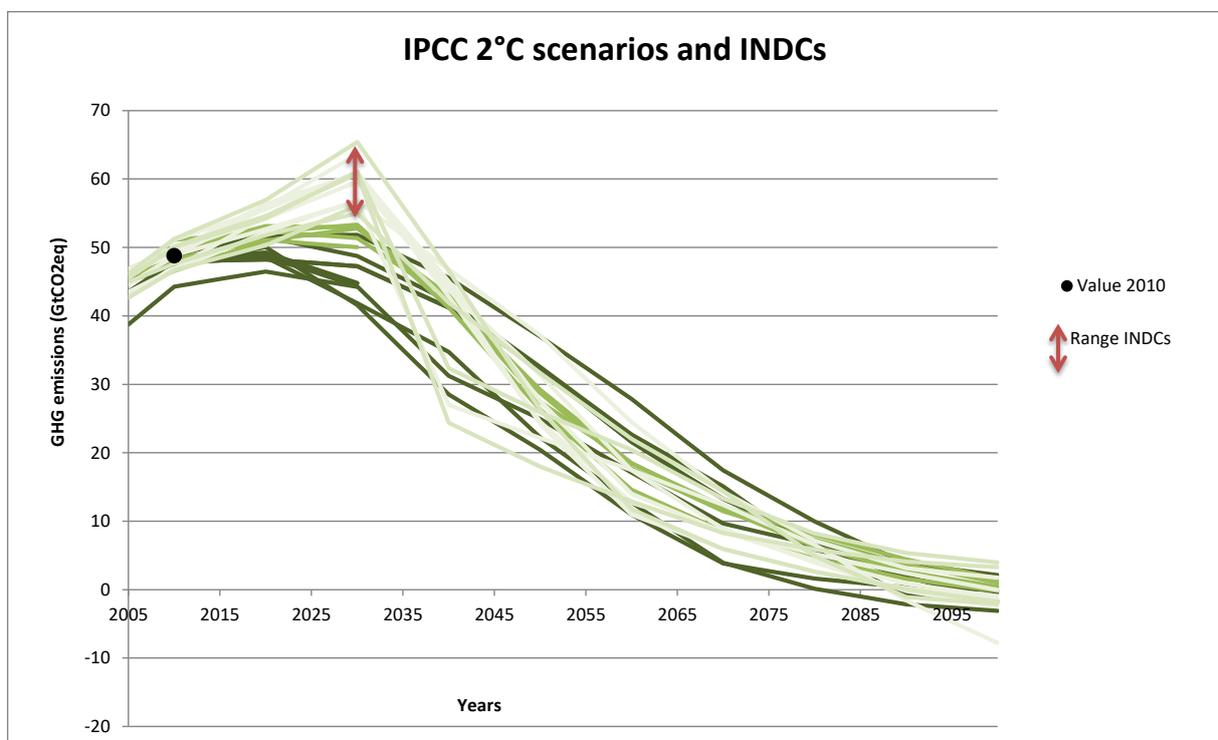
Pays/région	Formulation de l'objectif
Australie	-26 à -28% des émissions de GES en 2025 par rapport à 2005
Canada	-30% des émissions de GES en 2030 par rapport à 2005
Corée du Sud	-37% des émissions de GES par rapport à un scénario BAU (BAU: 851MtCO ₂ eq) en 2030
Japon	-26% des émissions de GES en 2030 par rapport à 2013
Union Européenne	-40% des émissions de GES en 2030 par rapport à 1990
USA	-26 à -28% des émissions de GES en 2025 par rapport à 2005
Afrique du Sud	Emissions en 2025-2030 dans la fourchette 398 – 614 MtCO ₂ eq
Brésil	-37% des émissions de GES en 2025 par rapport à 2005
Chine	-60 à -65% de l'intensité énergétique en 2030 par rapport à 2005 (que CO ₂)
Inde	-33 à -35% de l'intensité carbone du PIB en 2030 par raport à 2005
Indonésie	-29% (obj. inc.) à -41% (obj. cond.) des émissions de GES par rapport à un scénario BAU en 2030
Mexique	-25% (obj. inc.) à -40% (obj. cond.) des émissions de GES par rapport à un scénario BAU en 2030
Russie	-70 à -75% des émissions de GES en 2030 par rapport à 1990

Le Groupe Interdisciplinaire sur les Contributions Nationales (Benveniste et al., 2015) a ainsi estimé que l'ensemble des CIDN conduirait à un niveau d'émissions mondial entre 55 et 64 GtCO₂eq en 2030, soit une augmentation par rapport au niveau d'émission observé en 2012 (51GtCO₂eq). La plus grande composante de cette incertitude de 9 GtCO₂eq renvoie à la spécificité de la formulation de la CIDN chinoise en intensité énergétique. Les autres composantes sont le niveau d'émission en 2030 en Inde pour les mêmes raisons que pour la Chine mais avec un impact moindre sur le niveau d'incertitude (<1GtCO₂eq alors que l'éventail pour la Chine est de près de 3 GtCO₂eq), la prise en compte, pour un certain nombre de pays en développement des objectifs inconditionnels ou conditionnés à une coopération internationale permettant l'obtention de financements additionnels, et les émissions des puits de carbone dont le périmètre de prise en compte dans les CIDN est très variable selon les pays et pas toujours explicite.

Certes, la mise en œuvre des objectifs des CIDN constituerait une réduction réelle et significative: elles permettraient ainsi de réduire le niveau d'émissions de GES atteint en 2030 de 7 à 10 GtCO₂eq. Néanmoins, ceci est loin de garantir une limitation du réchauffement climatique à 2°C. En effet, seules des trajectoires avec un niveau de probabilité faible (33%) de limiter le réchauffement à 2°C

passent par ce niveau d'émissions en 2030 (Figure). D'autre part, la réalisation de ce type de trajectoires montre deux types d'obstacles qui semblent peu franchissables: elles nécessitent à la fois des taux annuels mondiaux de réduction des émissions extrêmement importants dès 2030 et des émissions globales négatives dès la seconde moitié du 21^{ème} siècle. C'est pourquoi l'Accord de Paris rappelle explicitement que "des efforts de réduction des émissions beaucoup plus importants que ceux associés aux CIDN seront nécessaires pour contenir l'élévation de la température de la planète en dessous de 2 °C (...) en ramenant les émissions à 40 gigatonnes." (UNFCCC, 2015)

Figure 1: Sélection de trajectoires d'émissions pour des scénarios 2°C (GIEC) et niveau d'émissions obtenu par l'agrégation des CIDN en 2030. Les trajectoires vertes sont des trajectoires d'émissions de GES correspondant à un réchauffement de 2°C. Les trajectoires en vert foncé correspondent à un taux de réduction annuel moyen des émissions entre 2030 et 2050 de 4%, les trajectoires vertes à un taux de 5%, et les trajectoires vert clair à un taux de 6%. La double flèche rouge désigne le niveau d'émissions de GES correspondant aux CIDN en 2030. Sources: IPCC, WGIII AR5 ; GICN



Au-delà de la simple quantification de ce gap d'émissions, les CIDN sont également chacune évaluées d'un point de vue économique. Pour cela, la valeur carbone implicite à chacun des objectifs nationaux définis dans les CIDN en 2030 est révélée à l'aide de travaux de simulation menés avec le modèle global de prospective énergétique POLES (Voir annexe). Cette valeur carbone doit être comprise comme une mesure approchée de l'ambition des politiques climatiques (notamment pour calibrer le coût de réduction implicite des politiques sectorielles) à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif d'émissions inscrit à la CIDN de chacun des pays. Ce travail est réalisé pour les 13 pays ou régions les plus émetteurs de GES (les mêmes pays que dans le projet DDP sauf pour les pays européens, France, Italie, Angleterre, Allemagne réunis au sein de l'Europe).

Cette valeur carbone implicite est calculée avec le modèle POLES pour les seules émissions de CO₂ énergétique (émissions de *process* industriels incuses). Pour cela, il est nécessaire de traduire les objectifs affichés par les INDC qui couvrent (sauf pour la Chine) l'ensemble de gaz à effet de serre (y compris les émissions relatives à l'utilisation des terres et à la foresterie) en objectif pour ces seules

émissions de CO2 énergétique. La méthodologie de conversion est décrite de manière détaillée dans Coindoz et al. (2017).

Les résultats sont donnés dans la moitié gauche du tableau **Error! Not a valid bookmark self-reference.**. Les valeurs minimales renvoient à l'atteinte de la fourchette basse des objectifs (les moins ambitieux) décrits dans le tableau 1

Tablea, et les valeurs maximales à l'atteinte de la fourchette haute.

Tableau 2: Valeurs carbone implicites aux CIDN en 2030 et Valeurs carbone implicites en 2030 et 2050 aux objectifs de réduction des émissions en 2050 des scénarios DDPP

\$/tCO2	Valeur du carbone implicite des CIDN en 2030		Valeur du carbone compatible avec l'objectif DDPP en 2050	
	Min	Max	2030	2050
Australie	20	30	175	410
Canada	40	50	275	640
Corée du Sud	40		>300	>700
Etats-Unis	20	30	200	470
Japon	50		300	700
Union Européenne	40		250	580
Afrique du Sud	0	60	45	105
Brésil	0		110	260
Chine	20	30	85	195
Inde	0		60	140
Indonésie	10	150 (obj. cond.)	90	210
Mexique	60	150 (obj. cond.)	175	350
Russie	0	0	300	700

Source : modèle POLES, GAEL

Le premier apport de ce travail réside dans la comparabilité entre pays du niveau d'ambition implicite à la CIDN, si l'on admet que l'ambition de ces contributions peut être mesurée, en première approximation, par une trajectoire linéaire de prix du carbone et dont le niveau de 2030 reflète le coût marginal de réduction correspondant à l'objectif du pays.

Ainsi, à l'horizon 2030, aucune des valeurs carbone des contributions (sauf pour le Mexique et l'Indonésie pour leurs objectifs conditionnels) n'est supérieure à 60\$/tCO2.

- Dans les pays industrialisés, les valeurs implicites du carbone sont toutes strictement positives et supérieures à 20\$/tCO2. Les CIDN des Etats-Unis et de l'Australie apparaissent comme les moins ambitieuses. Les contributions de l'Union Européenne, du Canada et de la Corée du Sud représentent des niveaux d'ambition intermédiaire et celle du Japon le plus ambitieux.

- En dehors de ces économies industrialisées, l'objectif incondtionnel du Mexique montre un niveau d'ambition supérieur à tous les autres pays. A l'inverse, la réalisation des objectifs de GES énoncés dans les contributions du Brésil, de l'Inde, de la Russie et de l'Afrique du Sud ne requerraient aucun effort spécifique.

L'ensemble de ces résultats semblent cohérents avec les autres exercices de modélisation ayant cherché à évaluer les valeurs implicites du carbone des INDC (Fujimori *et al.*, 2016; GECO, 2016).

Le second apport de ce travail de simulation est de permettre d'évaluer l'ambition des CIDN au regard de trajectoires nationales compatibles globalement avec un objectif de 2°C. Pour cela, les niveaux d'émissions de GES en 2050 affichés dans le cadre du projet DDPP par chacun des pays sont une bonne référence⁴. Nous révélons à l'aide du modèle POLES les trajectoires linéaires de valeur carbone implicite pour chaque pays permettant d'atteindre ces niveaux d'émissions en 2050. Les points de passage en 2030 et 2050 sont décrits dans la moitié droite du Au-delà de la simple quantification de ce gap d'émissions, les CIDN sont également chacune évaluées d'un point de vue économique. Pour cela, la valeur carbone implicite à chacun des objectifs nationaux définis dans les CIDN en 2030 est révélée à l'aide de travaux de simulation menés avec le modèle global de prospective énergétique POLES (Voir annexe). Cette valeur carbone doit être comprise comme une mesure approchée de l'ambition des politiques climatiques (notamment pour calibrer le coût de réduction implicite des politiques sectorielles) à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif d'émissions inscrit à la CIDN de chacun des pays. Ce travail est réalisé pour les 13 pays ou régions les plus émetteurs de GES (les mêmes pays que dans le projet DDP sauf pour les pays européens, France, Italie, Angleterre, Allemagne réunis au sein de l'Europe).

Cette valeur carbone implicite est calculée avec le modèle POLES pour les seules émissions de CO2 énergétique (émissions de *process* industriels incuses). Pour cela, il est nécessaire de traduire les objectifs affichés par les INDC qui couvrent (sauf pour la Chine) l'ensemble de gaz à effet de serre (y compris les émissions relatives à l'utilisation des terres et à la foresterie) en objectif pour ces seules émissions de CO2 énergétique. La méthodologie de conversion est décrite de manière détaillée dans Coindoz et al. (2017).

Les résultats sont donnés dans la moitié gauche du tableau **Error! Not a valid bookmark self-reference.**. Les valeurs minimales renvoient à l'atteinte de la fourchette basse des objectifs (les moins ambitieux) décrits dans le tableau 1

Tablea, et les valeurs maximales à l'atteinte de la fourchette haute.

Tableau . Ainsi les valeurs obtenues pour l'Inde, l'Afrique du Sud, l'Indonésie et la Chine sont les plus basses. Toutes les autres valeurs y compris pour le Mexique et le Brésil sont supérieures à 100\$/tCO2 en 2030. Pour les pays industrialisés (USA, Europe, Canada, Japon) sauf pour l'Australie, les valeurs sont même supérieures en 2030 à 200\$/tCO2. Il est à noter les valeurs très élevées atteintes (de l'ordre de 300\$/tCO2 en 2030) pour la Russie et la Corée du Sud.

Ainsi, toutes les valeurs carbone implicites des CIDN en 2030 sont très largement inférieures aux valeurs qui seraient nécessaires pour se placer dans une dynamique visant les niveaux d'émissions nationaux compatibles avec l'objectif de 2°C. Ceci donne une idée du déficit d'ambition spécifique à chaque CIDN.

⁴ Pour l'UE, l'objectif de long terme de réduction de 80% des émissions de GES en 2050 par rapport à 1990 est considéré.

Conclusion : vers une mise en cohérence des contributions et des trajectoires de décarbonation

On le voit, l'écart entre la valeur implicite du carbone des INDC et celle qui serait requise par des trajectoires de décarbonation profonde à long terme est dans la plupart des cas considérable. Cela montre bien que l'ambition des contributions nationales devra être fortement révisée à la hausse dans la séquence des prochains cycles de négociation.

Le processus découlant de l'Accord de Paris vise précisément à assurer, d'une part le caractère dynamique des contributions nationales de façon à réduire progressivement le "gap" entre ce qui est proposé et ce qui est souhaitable, et d'autre part la transparence dans la mise en œuvre des politiques et mesures qui permettront d'atteindre les engagements. Ce processus est structuré par un premier "inventaire global" (*global stocktake*) prévu pour la COP24, soit en 2018. Cet inventaire global doit être mené sur la base de toute information scientifique ou de tout rapport susceptible de contribuer au bon suivi des progrès réalisés dans chaque pays ou au renforcement de l'ambition des politiques entreprises.

On a toutes les raisons de penser que, sur la base de l'inventaire global et en vue du renforcement de l'ambition, les progrès futurs devront découler de l'effort de mise en convergence des NDCs et des trajectoires de décarbonation à long terme. De l'interaction dialectique entre ces deux concepts, dont le premier a constitué le fondement de l'Accord de Paris alors que le second n'était alors qu'en arrière-plan, devrait découler une définition plus ambitieuse des objectifs climatiques nationaux, ainsi qu'une mise en œuvre plus efficace des politiques.

Bibliographie

Barker, T., I. Bashmakov, A. Alharthi, M. Amann, L. Cifuentes, J. Drexhage, M. Duan, O. Edenhofer, B. Flannery, M. Grubb, M. Hoogwijk, F. I. Ibitoye, C. J. Jepma, W.A. Pizer, K. Yamaji, 2007: Mitigation from a cross-sectoral perspective. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

Bataille, C., Waisman, H., Colombier, M., Segafredo, L., & Williams, J. (2016). The deep decarbonization pathways project (DDPP):: Insights and Emerging Issues. *Climate Policy*, 16, 1.

Benveniste H, Criqui P, Boucher O, Breon F-M, Guivarch C, Prados E, Mathy S, Chevallet L, Coindoz L, Le Treut H. (2015). *The INDC counter, aggregation of national contributions and 2° C trajectories* (No. hal-01245354).

Coindoz, L., Criqui, P., Mathy, S. & Mima, S. (2017). Valeurs carbone implicite des contributions nationales et trajectoires 2°C. Grenoble: GAEL, 46 p. (Working paper GAEL ; 2/2017)

Criqui P. 2014. Transition énergétique : quelle trajectoire ? Généalogie de la loi de transition énergétique et positionnement au regard des scénarios préexistants Futuribles. :89-96.

Fujimori, S., Kubota, I., Dai, H., Takahashi, K., Hasegawa, T., Liu, J. Y., ... & Takimi, M. (2016). Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement?. *Environmental Research Letters*, 11(10), 104001.

Grubb, M. (1989). *The greenhouse effect: negotiating targets*. Royal Institute of International Affairs.

Kitous, A., Keramidis, K., Vandyck, T., Saveyn B., (2016) Global energy and climate outlook (GECO 2016): road from Paris. JRC Science for Policy Report

UNFCCC, 2015. Adoption of the Paris Agreement.

ANNEXE : LE MODELE POLES

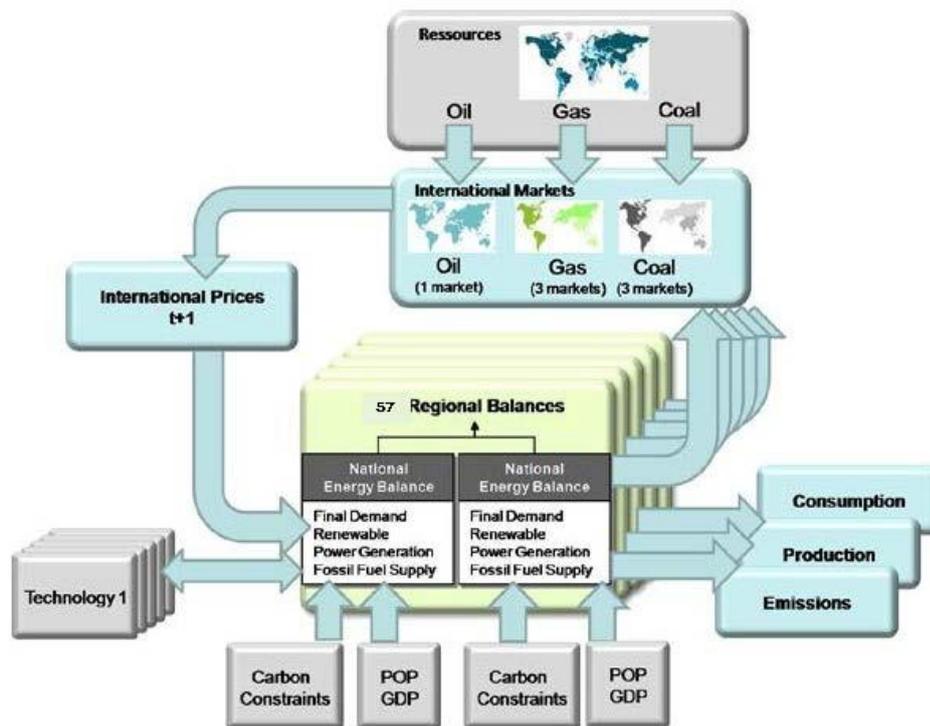
Le modèle POLES, initialement développé à l'IEPE, est aujourd'hui un des modèles de référence utilisé en interne par la Commission européenne (Centre de Recherche Commun IPTS-Séville) pour l'évaluation économique des politiques climatiques. POLES est un modèle de simulation du système énergétique mondial à l'horizon 2050 avec des hypothèses exogènes pour les évolutions démographiques et économiques, pour chacun des grands pays ou régions du monde, (59 régions dans la version actuelle.), mais une endogénéisation de l'ensemble des variables caractérisant la consommation, la transformation, la production, le progrès technologique et les prix de l'énergie. C'est un modèle d'équilibre partiel du secteur énergétique avec une simulation récursive dont la dynamique est donnée, à partir de l'année initiale puis d'année en année, par les ajustements échelonnés des variables d'offre et de demande d'une part et de prix d'autre part. L'horizon prospectif a été étendu à une cinquantaine d'années, mais avec le souci de conserver une description des technologies « explicites » et non « génériques » et avec l'introduction de processus de changement technologique endogène pour un ensemble d'une cinquantaine de technologies énergétiques-clé. Aujourd'hui, après les adaptations du modèle nécessaires pour les exercices internationaux comme Energy Modelling Forum, certaines simulations portent jusqu'à l'horizon 2100

• *Structure du modèle*

Le modèle est construit selon une structure hiérarchisée de modules interconnectés au niveau national, régional et mondial, qui représentent les dynamiques de prix et les flux énergétiques en unités physiques :

- le niveau national intègre les modules de consommation, d'énergies nouvelles, de conversion en électricité ou hydrogène et de production d'énergies fossiles pour chaque région ;
- les niveaux régionaux ou mondiaux intègrent les flux d'échanges énergétiques et les modules de prix internationaux, pour les trois grandes énergies faisant l'objet d'un large commerce international, pétrole, gaz naturel et charbon.

Figure 1 : Structure et organisation du modèle POLES



• *La représentation des marchés internationaux et la prise en compte des contraintes de ressource*

Outre une modélisation complète de la demande d'énergie par secteur, du développement des technologies d'énergies nouvelles et renouvelables, du secteur de production d'électricité et aujourd'hui d'hydrogène-énergie, le modèle offre une description détaillée du processus de découverte et de mise en production des énergies fossiles. Celui-ci tient compte à la fois des contraintes de ressource qui pèsent sur le développement à long terme du pétrole et du gaz, dans une logique qui permet de combiner les problématiques de type « pic de Hubbert » avec une prise en compte de l'impact du progrès technique dans les techniques d'exploration et de récupération qui permettent d'élargir la base de ressources.

L'évolution des échanges résulte de la mise en rapport des consommations et de la production d'énergie primaire par pays ou région. Pour le pétrole un seul marché mondial est considéré (concept du « *one great pool* ») et les variations du prix du pétrole dépendent de celles du ratio Réserves/Production au plan mondial et d'une variable de court-terme, le taux d'utilisation des capacités de production des pays du Golfe.

Pour le gaz naturel, le marché mondial est structuré en trois grands ensembles régionaux (Amérique, Eurafrique, Asie). Pour chaque marché est calculé un prix du gaz naturel, en fonction d'un terme d'indexation sur les prix du pétrole pour le court terme et d'un terme spécifique correspondant à la variation du ratio Réserves/Production pour les producteurs-clés de la région.

Pour le charbon, les prix internationaux, également pour trois ensembles régionaux, dépendent du rythme d'expansion de la production charbonnière dans les grands pays producteurs (USA, Afrique du Sud, Australie, Chine ...).

L'ensemble du modèle permet ainsi de donner une image complète des systèmes énergétiques nationaux et internationaux, avec une description - sans doute non exhaustive mais néanmoins

détaillée - des technologies utilisées et la prise en compte des mécanismes fondamentaux des ajustements dynamiques de l'offre et de la demande d'énergie aux variations des prix.

• *La simulation des politiques de réduction des émissions de CO2 dans le modèle POLES*

A partir de la projection de base « sans politique climatique », l'introduction d'une « valeur du carbone », comme variable-proxy de l'intensité des politiques climatiques dans les différents modules, permet d'évaluer pour chaque région les émissions par tête ou par unité de PIB aux différents horizons de temps de la négociation internationale ; les courbes de Coûts Marginaux de Réduction (CMR) ; le CMR et les échanges de permis en volume et valeur pour différentes configurations, dans l'hypothèse de marchés d'émissions.

Le dispositif d'analyse des politiques climatiques est donc basé sur l'utilisation des résultats du modèle concernant le volume des émissions par région pour un large spectre de « Valeurs du Carbone ». Ces analyses sont menées de deux manières différentes :

- par exploitation dans un logiciel spécialisé, ASPEN, des jeux de courbes de coût marginal produits dans le modèle principal, avec analyse de bulles ou de marchés, avec égalisation des CMR et minimisation du coût total, par échange de permis d'émission notamment.
- par traitement endogène de la valeur du carbone avec imposition d'une trajectoire d'émission exogène, le modèle calculant par itération la valeur du carbone qui permet de respecter la contrainte globale.

• *Les portefeuilles technologiques et l'endogénéisation du progrès technique*

Cinq portefeuilles technologiques permettent une description explicite des grandes options pour le développement du système énergétique et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre : les technologies de demande « Très Basses Emissions » pour les transports et le bâtiment, les énergies renouvelables, la production d'électricité centralisée dont l'énergie nucléaire, la production d'hydrogène et les options de Capture et Stockage du CO2.

Une base de données spécifiques TECHPOL a été développée dans le cadre du programme Energie du CNRS afin de rassembler et de traiter de manière rigoureuse et homogène des données de coût et de performances jusqu'alors éparses et hétérogènes, ce pour une cinquantaine de technologies-clé. Cette base constitue un outil de choix pour l'amélioration de la qualité des hypothèses employées par les modèles énergétiques de grande taille et a de fait été utilisée dans plusieurs consortium européens ;

Par ailleurs le modèle incorpore aujourd'hui des « courbes d'apprentissage à deux facteurs » (*learning by doing* et impact de la R&D) qui permettent un certain degré d'endogénéisation du progrès technique, les performances des technologies des cinq portefeuilles évoqués plus haut s'améliorant avec les capacités cumulées et les stocks de connaissance.