

Université Libre de Bruxelles

IGEAT

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

* * *

Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

"Répartition des efforts de réduction dans le cadre des négociations post-Kyoto : analyse de la Proposition Brésilienne et des Régimes alternatifs"

Travail de Fin d'Etudes réalisé dans le cadre d'un stage au Service Public Fédéral « Santé Publique, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement »
DG Environnement – Service Changements Climatiques

Présenté par
Florence Loozen
en vue de l'obtention du grade académique de
Diplômé d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

Année Académique : 2005-2006

Directeur : E. Hannon

Je souhaite remercier mon directeur Monsieur E. Hannon, ainsi que mon responsable de stage Monsieur V. Van Steenberghe, qui m'ont guidée dans le choix de mes lectures et m'ont conseillée pour la rédaction de ce mémoire.

D'autres personnes ont également contribué indirectement à la réalisation de ce travail : Monsieur B. Matthews, qui m'a permis d'assister à la réunion du groupe MATCH, et toute l'équipe du service Changements Climatiques qui m'a si gentiment accueillie et intégrée parmi eux. Qu'ils soient également remerciés.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	1
Partie 1 : Introduction.....	3
<u>1.1. Introduction générale.....</u>	<u>5</u>
<u>1.2. Contexte.....</u>	<u>6</u>
1.2.1. Le réchauffement climatique	6
1.2.2. La Convention Cadre des Nations Unies	7
1.2.3. Le Protocole de Kyoto	8
1.2.4. Les engagements futurs	11
1.2.5. La Proposition Brésilienne : historique	12
Partie 2 : Analyse et synthèse	17
<u>2.1. Les différents développements autour de la Proposition Brésilienne.....</u>	<u>19</u>
2.1.1. Paramètres testés et calcul des contributions (en utilisant les valeurs par défaut).....	19
2.1.2. Choix scientifiques	22
2.1.2.1. Choix des données d'émissions historiques	23
2.1.2.2. Choix de la représentation du système climatique (carbon cycle and climate model and feedbacks).....	24
2.1.3. Choix méthodologiques	25
2.1.3.1. Indicateurs des effets des émissions historiques, utilisé pour le calcul d'attribution des responsabilités.....	26
2.1.3.2. Cadre temporel (timeframes)	34
2.1.3.3. Choix des gaz à effet de serre et des sources prises en considération.....	38
2.1.3.4. Méthodes d'attribution.....	43
<u>2.2. Les Régimes post-Kyoto alternatifs.....</u>	<u>48</u>
2.2.1. Approches quantitatives : nature des objectifs	48
2.2.2. Approches quantitatives : timing et schémas d'allocation.....	48
2.2.2.1. La Proposition Brésilienne.....	51
2.2.2.2. Approche Multi-Stage.....	54
2.2.2.3. Contraction&Convergence et Per Capita Convergence	55
2.2.2.4. L'approche « Preference Score »	56
2.2.2.5. Jacoby Rule et autres allocations basées sur le coût de réduction des émissions.....	57
2.2.2.6. Approche Triptyque Globale	58
2.2.2.7. « Grandfathering » (ou « droits acquis »)	59
2.2.3. Approches non quantitatives.....	59
Partie 3 : Discussion	61
<u>3.1. Développements autour de la Proposition Brésilienne</u>	<u>63</u>
3.1.1. Importance des choix scientifiques et méthodologiques	63
3.1.2. Possibilités futures pour la Proposition Brésilienne	64
<u>3.2. Essai de comparaison des différents régimes post-Kyoto et place de la Proposition Brésilienne.....</u>	<u>67</u>
3.2.1. Comparaison des réductions d'émissions qui découlent des différents régimes	67
3.2.2. Comparaison des coûts qui découlent des différents régimes	70
3.2.3. Critères d'évaluation des Régimes	75
3.2.3.1. Critère environnemental.....	75
3.2.3.2. Critère économique	79
3.2.3.3. Critère politique	81

3.2.3.4. Critère technique et institutionnel.....	86
3.2.4. Forces et faiblesses des différentes approches.....	87
3.2.5. Adaptations possibles pour rendre la Proposition Brésilienne plus acceptable	89
Partie 4 : Conclusions.....	91
Bibliographie.....	95

RÉSUMÉ

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les développements relatifs à la Proposition Brésilienne, une méthodologie proposée pour définir les objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre des différents pays sur base de leur contribution historique aux changements climatiques, et de la comparer aux régimes alternatifs proposés pour la période post-Kyoto. Ce travail repose principalement sur une approche de recherche bibliographique.

La première partie du mémoire situe la Proposition Brésilienne dans son contexte (la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et le Protocole de Kyoto) et dresse un aperçu de son historique. Elle est actuellement la seule proposition pour l'attribution d'objectifs de réduction officiellement prise en considération dans le contexte de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

Dans la deuxième partie sont analysés les différents facteurs qui influencent les résultats de la Proposition Brésilienne, exprimés en termes d'attribution de responsabilité historique aux différentes régions (groupes de pays) dans les effets du changement climatique. La sensibilité des résultats aux différents facteurs est également analysée. Les facteurs d'ordre scientifique (quel modèle est utilisé) sont distingués des facteurs d'ordre méthodologique (choix des indicateurs de changement climatique, du cadre temporel, des sources d'émissions prises en considération, etc.). L'impact des choix scientifiques est limité en comparaison de l'impact des choix méthodologiques. Les résultats sont très sensibles au choix des secteurs émetteurs de CO₂ inclus dans les calculs d'attribution (inclusion du CO₂ lié aux changements d'affectation des terres, ou uniquement du CO₂ lié au secteur de l'énergie), et également au choix des gaz à effet de serre inclus (plusieurs gaz à effet de serre, ou seulement le CO₂). Le choix du cadre temporel (période pendant laquelle les effets sont attribués aux différentes sources, et date d'évaluation) et le choix de l'indicateur des effets sont également déterminants dans les résultats d'attribution des responsabilités aux différentes sources d'émissions.

Cette analyse montre que malgré la complexité de la Proposition Brésilienne, due au grand nombre de facteurs considérés, des calculs prenant en compte la responsabilité historique sont faisables. La Proposition Brésilienne a en outre fait l'objet de nombreux développements, rendant cette méthodologie modulable. Cette caractéristique peut constituer tant un obstacle qu'une opportunité pour son application dans le cadre des négociations post-Kyoto. En effet, d'un côté le caractère modulable de cette proposition ôte une part d'objectivité aux résultats obtenus, ceux-ci étant fortement dépendants des choix méthodologiques opérés. D'un autre côté, cette souplesse de la Proposition Brésilienne offre la possibilité de d'ajuster les résultats de manière à éviter des profils d'attribution de responsabilité (et partant des objectifs de réduction d'émissions) trop extrêmes pour certaines régions. Le choix des paramètres inhérent à cette méthodologie offre donc la souplesse requise, permettant d'améliorer son acceptabilité pour certains pays.

Les régimes alternatifs proposés pour la période post-Kyoto sont présentés dans la deuxième partie également. Ils reposent sur des concepts fort différents de la Proposition Brésilienne. Il convient de choisir une définition de chacun de ces régimes alternatifs, car des variantes existent également pour chacun d'eux, et les résultats dépendent du choix de certains paramètres, mais dans une moindre mesure que pour la Proposition Brésilienne.

Une première comparaison quantitative des efforts de réduction à réaliser selon chaque proposition, ainsi que des coûts qui y sont associés, est présentée dans la troisième partie. Cette comparaison semble indiquer que la Proposition Brésilienne mène à des allocations de droits d'émissions plus contrastées que les autres régimes. Toutefois, des variantes peuvent être plus acceptables pour les pays défavorisés par cette définition. Les profils d'attribution de réductions d'émissions découlant de la Proposition Brésilienne sont donc susceptibles de nourrir les discussions relatives à un régime futur. En termes de coûts mondiaux et de coûts régionaux, les différences entre la Proposition Brésilienne et les autres régimes ne semblent pas très importantes, ce qui confère à cette méthodologie une certaine robustesse, et confirme l'idée qu'une approche basée sur la notion de responsabilité historique peut être envisagée de manière réaliste.

Finalement, une comparaison qualitative des différents régimes a été effectuée selon un ensemble de critères (environnemental, économique, politique), mais un classement objectif sur cette base semble difficile à réaliser. En effet, chaque approche présente des forces et des faiblesses, et accorder plus de poids à l'un ou l'autre critère d'évaluation relèverait d'un jugement de valeur. Dans l'ensemble, la Proposition Brésilienne ne se distingue pas particulièrement comme étant « meilleure » ou « moins bonne » que les autres, selon les critères choisis.

PARTIE 1 : INTRODUCTION

1.1. Introduction générale

Le présent mémoire est réalisé avec l'objectif d'étudier les développements relatifs à la Proposition Brésilienne, une méthodologie proposée pour définir les objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre des différents pays sur base de leur contribution historique aux changements climatiques, et de la comparer à des régimes alternatifs proposés pour la période post-Kyoto. Notre travail repose principalement sur une approche de recherche bibliographique.

Nous cherchons tout d'abord à situer la Proposition Brésilienne dans son contexte : les changements climatiques, la Convention Cadre des Nations Unies, et le Protocole de Kyoto qui a vu naître la Proposition. Ceci fait l'objet de la première partie de ce mémoire.

La deuxième partie présente une analyse des différents facteurs qui influencent les résultats de la Proposition Brésilienne, exprimés en termes de responsabilité historique dans les effets du changement climatique. Les facteurs d'ordre scientifique (quel modèle est utilisé) sont distingués des facteurs d'ordre méthodologique (choix des indicateurs de changement climatique, du cadre temporel, des sources prises en considération, etc.). L'analyse est centrée sur l'influence de ces choix sur les résultats, en terme d'attribution des responsabilités aux différentes régions émettrices de gaz à effet de serre. Nous présentons également dans cette deuxième partie un ensemble de régimes alternatifs proposés pour la période post-Kyoto.

Dans la troisième partie, nous discutons de l'importance de ces choix scientifiques et méthodologiques, ainsi que des développements potentiels de la Proposition Brésilienne. Nous comparons ensuite la Proposition Brésilienne aux régimes alternatifs, tant de façon quantitative (en termes de réductions d'émissions de gaz à effet de serre, et de coûts associés à celles-ci) que de façon qualitative, selon un ensemble de critères (environnemental, économique, politique). Certaines forces et faiblesses sont identifiées pour chaque Régime.

Enfin, les conclusions portent sur le potentiel que représente la Proposition Brésilienne pour les négociations post-Kyoto.

1.2. Contexte

1.2.1. Le réchauffement climatique

Selon le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), le système climatique a considérablement évolué depuis l'ère préindustrielle, tant au niveau mondial qu'au niveau régional. Par exemple, la température moyenne de surface a augmenté d'environ 0,6°C. Selon le Troisième Rapport d'Evaluation du Groupe, la majeure partie du réchauffement observé dans les cinquante dernières années peut être attribué aux activités humaines. En effet, les hommes relâchent de plus en plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, dont les principaux sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), et l'oxyde nitreux (N₂O). Ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère, et sont même essentiels à la vie. Ils empêchent une partie de la chaleur solaire de retourner dans l'espace, et sans eux la Terre serait froide et aride. Néanmoins, les concentrations de ces gaz dans l'atmosphère sont en augmentation croissante, et modifient profondément le système climatique. Les activités en cause sont celles qui émettent des gaz à effet de serre, telles que la combustion de pétrole et de charbon, mais également certaines méthodes agricoles et la coupe de forêts.

Au cours des années à venir, la Terre va continuer à se réchauffer. Le GIEC tente de comprendre les interactions entre les activités humaines et le système climatique, cherchant à évaluer la manière dont le climat, les écosystèmes naturels et les conditions de vie des hommes pourraient évoluer dans le futur si aucune politique d'intervention climatique n'était appliquée. Le Groupe a notamment développé des scénarios d'émissions probables de gaz à effet de serre, et les concentrations futures qui en résulteraient. Ils concluent que l'augmentation de la température d'ici 2100 se situerait probablement entre 1,4°C et 5,8°C en comparaison du niveau de 1990, si aucune politique climatique n'était mise en oeuvre. L'incertitude est énorme, en raison non seulement du manque de données et de la compréhension imparfaite des processus-clé dans le système climatique, mais également de la difficulté de prévoir les moteurs du changement climatique, tels que les développements démographique, économique, et les comportements sociaux. Les estimations du GIEC se basent sur plusieurs scénarios d'émissions futures, qui reposent chacun sur des hypothèses différentes concernant ces facteurs.

Ces changements ne sont pas sans conséquences. L'augmentation de la température provoque l'expansion thermique des océans et la fonte des glaciers, contribuant toutes deux à une élévation du niveau de la mer. Les régimes de précipitations sont également affectés, et ces modifications s'exercent de manière différente selon les régions. De tels changements sont accompagnés d'un ensemble d'effets sur les écosystèmes et les conditions de vie des hommes. Quelques effets probables : assèchement de certaines zones et augmentation des précipitations sur d'autres, augmentation des événements météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations et sécheresses), modifications de la production primaire et la biodiversité (affectant la production agricole), risque de débordement de la mer sur les zones côtières, accroissement de certaines menaces pour la santé humaine,... De façon générale, des effets négatifs sont attendus sur l'environnement, la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'activité économique, les ressources naturelles, etc.

Le GIEC précise également que les impacts des changements climatiques s'abattront de façon disproportionnée sur les pays en développement et les pauvres au sein de chaque

pays, exacerbant de la sorte les inégalités liées à la santé, l'accès à l'eau potable, la nourriture et d'autres ressources.

1.2.2. La Convention Cadre des Nations Unies

La communauté internationale a pris conscience des menaces liées aux changements climatiques, et la nécessité d'envisager une réponse politique internationale.

Une première étape dans la reconnaissance du problème posé par le réchauffement climatique fut l'adoption, le 9 mai 1992 à New York, de la **Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques**. Celle-ci établit un cadre général d'action dont l'objectif ultime est de « stabiliser, conformément aux dispositions pertinentes de la Convention, les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable. » (article 2). Différents principes sont énoncés, dont :

- équité et principe des responsabilités communes mais différenciées: tous les pays seront affectés par les changements climatiques, et une action doit s'envisager au niveau global. Cependant, les émissions historiquement à l'origine du changement climatique sont très variables selon les pays, et il convient d'en tenir compte pour les actions futures. La lutte contre les changements climatiques incombe dès lors en premier lieu aux pays développés.
- principe de précaution : « Quand il y a risque de perturbations graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de mesures (...) »
- principe de reconnaissance de la situation spéciale et des besoins spécifiques des pays en développement
- principe de contribution au développement durable, de respect de la croissance économique, surtout pour les pays en développement, et de respect de la concurrence internationale

La Convention reconnaît que les émissions d'origine humaine de certains gaz peuvent nuire aux écosystèmes et aux activités des hommes. Elle encourage les gouvernements à rassembler et partager des informations sur les émissions de ces gaz, sur les politiques nationales et les pratiques qui semblent les meilleures, ainsi qu'à lancer des stratégies nationales pour atténuer les émissions et s'adapter aux impacts attendus. Cela implique que les Parties coopèrent entre elles pour faire face à ce défi majeur, et fournissent un support technologique et financier aux pays en développement.

La Convention est entrée en vigueur le 21 mars 1994, et comprend actuellement 189 Parties. Les États qui ne sont pas Parties pourraient encore la signer à ce jour.

La Convention s'est dotée de plusieurs organes. La Conférence des Parties (COP), qui se réunit chaque année, est la plus haute autorité de décision. Elle est chargée de faire régulièrement le point de l'application de la Convention et prend, dans les limites de son mandat, les décisions nécessaires pour favoriser l'application effective de la Convention. Deux organes subsidiaires permanents ont également vu le jour et se réunissent deux fois par an : l'Organe Subsidiaire de Conseil Scientifique et Technologique (SBSTA en anglais) et l'Organe Subsidiaire pour la Mise en Application (SBI en anglais). Composés de représentants des gouvernements, ils sont chargés de remettre des avis à la COP pour faciliter sa prise de décision. Le SBSTA est chargé de fournir à la COP des renseignements et des avis

sur les aspects scientifiques et technologiques de la Convention, faisant la part, entre autres, sur les connaissances scientifiques sur les changements climatiques et leurs effets, les effets des mesures prises en application de la Convention et leur efficacité par rapport à l'objectif ultime de la Convention. Il reste à évoquer le Secrétariat, basé à Bonn. Il organise les sessions de la COP et des organes subsidiaires, rédige et diffuse les documents et les rapports officiels, et coordonne les activités avec celles des secrétariats des autres organes internationaux compétents.

1.2.3. Le Protocole de Kyoto

Plusieurs Parties à la Convention ont rapidement attiré l'attention sur le fait que des engagements plus conséquents devraient être négociés pour atteindre l'objectif ultime de la Convention. Dès lors, en 1995 la COP 1 prit une décision connue sous le nom de **Mandat de Berlin**, qui a ouvert la voie vers des négociations en vue d'établir des exigences plus strictes pour les pays industrialisés, généralement désignés sous le terme de « Parties à l'Annexe I de la Convention » (OCDE et économies en transition vers une économie de marché). L'AGBM (Ad hoc Group on the Berlin Mandate - Groupe spécial du Mandat de Berlin) a été créé en vue d'assurer l'accompagnement concret du lancement de ce processus. Le **Protocole de Kyoto** fut ainsi adopté à la COP 3 à Kyoto, au Japon, le 11 décembre 1997. Cet accord international constitue une première étape vers l'objectif fixé par la Convention, et se caractérise par des objectifs individuels légalement contraignants, visant la réduction ou la limitation des émissions de gaz à effet de serre de chacun des pays industrialisés signataires.

Selon le Protocole, les Parties doivent faire en sorte que leurs émissions anthropiques agrégées soient réduites d'au moins 5% par rapport au niveau de 1990, au cours de la période d'engagement allant de 2008 à 2012. Etant donné de grandes différences dans la situation nationale des différentes Parties, des objectifs spécifiques très variés ont été attribués aux différentes Parties, de -8% à +10% par rapport aux émissions individuelles des pays en 1990.

Pays inclus à l'Annexe B du Protocole de Kyoto et leurs objectifs d'émissions

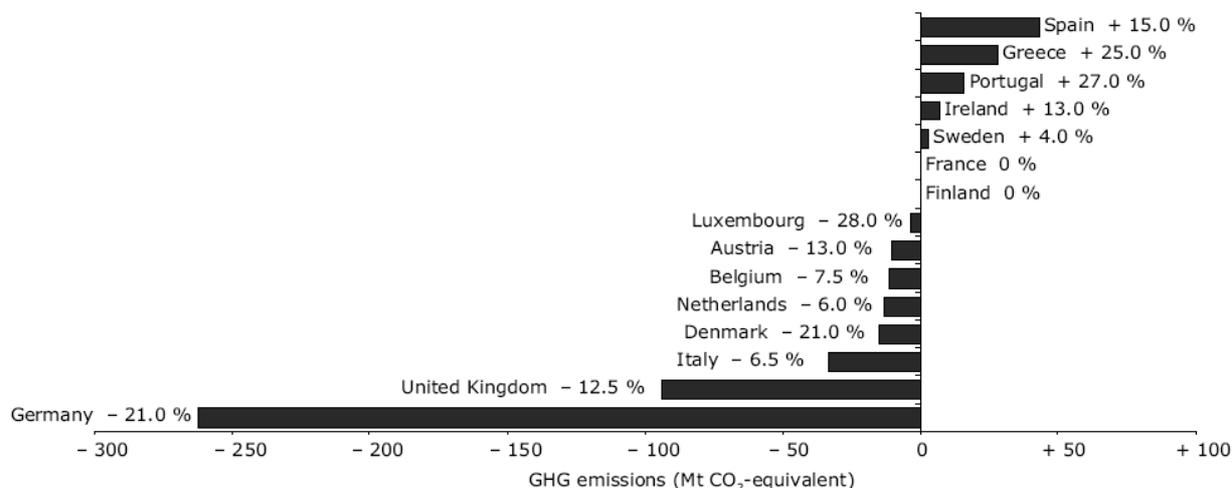
Pays	Objectif (pour 2008-2012, par rapport aux niveaux de 1990)
UE15, Bulgarie, République tchèque, Estonie, Latvia, Liechtenstein, Lituanie, Monaco, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, Suisse	- 8%
Etats-Unis*	- 7%
Canada, Hongrie, Japon, Pologne	- 6%
Croatie	- 5%
Nouvelle-Zélande, Russie, Ukraine	0
Norvège	+ 1%
Australie	+ 8%
Islande	+ 10%

*Les Etats-Unis ont montré qu'ils n'avaient pas l'intention de ratifier le Protocole

Source: UNFCCC

Ces objectifs individuels, listés dans l'Annexe B du Protocole de Kyoto, ont été établis de manière à assurer une réduction ou une limitation des émissions du pays, par rapport à l'évolution prévue de ces émissions. Ils couvrent les émissions des six principaux gaz à effet de serre, à savoir : dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), oxyde nitreux (N₂O), hydrofluorocarbones (HFC), hydrocarbures perfluorés (PFC), hexafluorure de soufre (SF₆). Ces gaz sont comptabilisés dans une unité commune, les « équivalents CO₂ », de manière à prendre en compte les « Potentiels de Réchauffement Global » spécifiques de ces différentes substances.

Au niveau de l'Union européenne, dont l'objectif collectif de réduction est de 8%, un accord interne a été négocié, qui attribue des objectifs différenciés aux 15 Etats membres qui la composaient. Comme indiqué sur le graphe, ces objectifs vont d'une réduction de 28% pour le Luxembourg, à une augmentation permise de 27% pour le Portugal.



Source : EEA

Si une partie ne parvient pas à respecter ses engagements, elle devra reporter à la deuxième période d'engagement la différence entre émissions effectives et émissions autorisées, augmentée d'une pénalité de 30%. D'autre part, elle ne sera plus autorisée à avoir recours aux mécanismes de flexibilité, abordés plus loin. Elle devra également développer un plan d'action pour atteindre ses objectifs à la prochaine période d'engagement.

En outre, l'article 3 du Protocole prévoit qu'en 2005, chaque Partie devra être en mesure de prouver qu'elle a accompli des progrès dans la poursuite de ses objectifs.

Pour atteindre leurs objectifs, les Parties à l'Annexe I doivent tout d'abord mettre en place un système national d'estimation des émissions anthropiques par les sources et de l'absorption par les puits de tous les gaz à effet de serre.

Ensuite, elles établiront des politiques et mesures domestiques. L'article 2 du Protocole fournit une liste indicative des politiques et mesures qui peuvent aider à atténuer les changements climatiques et promouvoir le développement durable. Les mesures proposées concernent principalement la réduction d'émissions de gaz à effet de serre en provenance des sources (accroissement de l'efficacité énergétique, développement de sources d'énergie renouvelables, etc.), mais visent également la protection et l'augmentation des puits et des réservoirs de gaz à effet de serre (par le biais d'une bonne gestion des forêts et des terrains agricoles). A l'instar de la Convention, le Protocole reconnaît la situation particulière des pays en développement et impose aux Parties à l'Annexe I de minimiser les effets néfastes sur ces pays lors de l'application de mesures visant à atteindre leurs objectifs.

Les Parties doivent aussi coopérer entre elles pour renforcer l'efficacité des mesures adoptées, par les biais d'échanges d'informations et d'expériences.

Le Protocole offre la possibilité aux Parties de recourir à trois « **mécanismes de flexibilité** » en complément des politiques et mesures mises en œuvre au plan national, dans le but d'aider les Parties à diminuer les coûts liés au respect de leurs obligations. Les transactions qui y sont liées seront enregistrées par chaque Partie dans un registre national.

Ces mécanismes sont :

- L' « *Application Conjointe* » (ou *Joint Implementation*) : mécanisme décrit à l'article 6 du Protocole, permettant aux Parties à l'Annexe I de mettre en œuvre des projets qui visent à réduire les émissions par les sources ou à renforcer l'absorption par les puits, sur le territoire d'autres Parties à l'Annexe I. Des « unités de réduction des émissions » sont ainsi octroyées au pays qui a réalisé l'investissement, et sont prises en considération dans les efforts effectués par le pays pour respecter ses engagements. Il est probable que les Parties qui ont recours à ce mécanisme proviennent en majorité des pays d'Europe Occidentale ou d'Amérique du Nord, et que la plupart des projets financés soient situés dans les pays en transition vers une économie de marché (pays d'Europe de l'Est et de l'ex-Union Soviétique), car ceux-ci sont les plus susceptibles d'offrir des possibilités de réduction d'émissions à bas coûts.
- Le « *Mécanisme pour un Développement Propre* » (ou *Clean Development Mechanism*) : dispositif décrit à l'article 12, semblable dans son principe au précédent, mais différent de celui-ci par le fait que les projets qui visent à réduire les émissions sont effectués sur le territoire de Parties ne figurant pas à l'Annexe I (pays en développement), donnant lieu à des « réductions d'émissions certifiées ». Des activités de reforestation et d'afforestation peuvent être prises en considération pour ce type de projets. Un des avantages de ce mécanisme est qu'il permet d'impliquer les pays en développement, bien que ceux-ci ne soient pas soumis à des limitations d'émissions contraignantes. Ces pays bénéficient ainsi d'investissements en technologies avancées, tandis que les bénéfices d'un point de vue climatique sont en théorie semblables à ceux qui auraient été obtenus sur le territoire du pays qui finance le projet, et sont obtenus à moindre coût. Le système attire de nombreuses entreprises privées et des investisseurs qui y voient des possibilités nouvelles de bénéfices. Un Conseil exécutif est chargé d'analyser les projets proposés et de vérifier si les conditions de certification sont respectées. En outre, une part des fonds provenant des activités certifiées sera prélevée pour alimenter un « fonds d'adaptation » qui aidera à financer le coût de l'adaptation aux effets du changement climatique, pour les Parties non incluses à l'Annexe I qui sont les plus vulnérables.
- L' « *Echange de droits d'émissions* » (*Emissions Trading*) : cette disposition permet de vendre ou d'acheter des « unités d'émissions autorisées » entre pays industrialisés. En effet, chaque Partie à l'Annexe I au Protocole ne peut dépasser une certaine quantité d'émissions sur la période d'engagement 2008-2012. Si un pays ne parvient pas à rester en deçà de cette limite, il peut acheter à une autre Partie des unités d'émissions permises, dans le but d'assurer le respect de ses propres engagements. Ceci est possible lorsque cette autre Partie a émis moins que la quantité qui lui était attribuée. Le prix de ces droits d'émissions est variable car il dépend du marché de l'offre et de la demande. L'Union européenne a d'ores et déjà établi un marché de ce type en son sein, opérationnel depuis le premier janvier 2005.

Lors de l'adoption du Protocole de Kyoto, de nombreuses modalités restaient à régler, concernant entre autres la comptabilité des réductions d'émissions et les moyens mis en œuvre pour le respect des engagements. Dès lors, les Parties ont continué à négocier ces aspects par la suite, dans le but de rendre le Protocole pleinement opérationnel. En 1998, la COP 4 s'accorda sur un document connu sous le nom de « **Plan d'Action de Buenos Aires** » qui fixa la COP 6 comme échéance pour finaliser les règles et détails opérationnels du Protocole. Cependant, à la COP 6 (La Haye, 2000), aucune décision finale n'a été obtenue et une nouvelle session (COP 6 bis) eut lieu à Bonn en 2001. Lors de celle-ci, les Parties adoptèrent les **Accords de Bonn** pour la mise en œuvre du plan d'action, et continuèrent les

négociations sur les procédures et dispositions relatives au respect des dispositions du Protocole. C'est en 2001 à la COP 7 que l'accord politique négocié à Bonn a pu être traduit en un ensemble de décisions (les « **Accords de Marrakech** ») mettant en place les règles détaillées de la mise en œuvre du Protocole de Kyoto.

A ce jour, 160 Parties ont ratifié le Protocole de Kyoto, dont 37 Parties à l'Annexe I qui représentent 61.6% des émissions de gaz à effet de serre en 1990 de l'Annexe I. **Le Protocole de Kyoto est entré en vigueur le 16 février 2005**, soit 90 jours après la date de ratification de la Russie. En effet, les conditions pour l'entrée en vigueur du Protocole prévoyaient qu'au moins 55 Parties à la Convention le ratifient, y compris des Parties à l'Annexe I comptant pour un total d'au moins 55% du total des émissions de dioxyde de carbone en 1990 de ce groupe. Seules les Parties à la Convention qui sont également devenues Parties au Protocole sont tenues par les engagements dudit Protocole. Or, des grandes puissances économiques telles que les États-Unis et l'Australie se sont désengagées du traité.

1.2.4. Les engagements futurs

La première période d'engagements du Protocole de Kyoto est une première étape importante, mais des réductions d'émissions plus fortes sont nécessaires à l'avenir si l'on veut atteindre l'objectif ultime de la Convention (article 2). A l'issue de la COP11 qui a eu lieu à Montréal en novembre/décembre 2005, deux pistes se dessinent pour le long terme, au niveau des Nations Unies : les « Convention track » et « Kyoto track », respectivement liés à la Convention Cadre et au Protocole de Kyoto. Ces deux processus ont cours en parallèle.

La « Kyoto track » se base sur l'article 3.9 du Protocole de Kyoto, qui prévoit que les engagements des périodes suivantes seront définis dans des amendements à l'annexe B du Protocole, et que la Conférence des Parties agissant comme Rencontre des Parties au Protocole doit entamer l'examen de ces engagements au moins sept ans avant la fin de la première période d'engagements, c'est-à-dire au plus tard en 2005. Lors de la première Rencontre des parties au Protocole de Kyoto (COP/MOP 1) qui se tenait conjointement à la COP 11 en novembre/décembre 2005 à Montréal, il a été décidé d'initier sans attendre un processus dans un Groupe de Travail *ad hoc* (AWG : *Ad hoc* Working Group) pour envisager les engagements post-2012 des parties à l'Annexe I, et que ce Groupe devrait faire en sorte qu'il n'y ait pas d'intervalle entre la première et la deuxième période d'engagements. Le groupe doit se réunir pour la première fois en mai 2006 à Bonn. Seuls les signataires du Protocole sont directement concernés.

La « Convention track » est, quant à lui, une initiative du président de la COP 11 lors du sommet de Montréal. Parallèlement à la « Kyoto track », mais en relation avec celui-ci, la COP a décidé d'entamer un dialogue sur une action coopérative en vue d'aborder les changements climatiques, pour améliorer l'application de la Convention. L'idée est d'élargir la participation, en mettant l'accent sur des actions volontaires des pays en développement (en particulier les économies émergentes), tout en cherchant également à obtenir la participation des États-Unis et de l'Australie (qui font partie de l'Annexe I mais n'ont pas ratifié le Protocole de Kyoto). Le dialogue se déroule par ateliers, dont le compte rendu est attendu lors des COP 12 et 13. Le premier atelier a lieu en mai 2006 à Bonn.

1.2.5. La Proposition Brésilienne : historique

Lors des négociations qui ont précédé l'adoption du Protocole de Kyoto, le Mandat de Berlin prévoyait que toutes les Parties puissent émettre des propositions quant à la manière de donner forme aux objectifs quantifiés de réduction et de limitation d'émissions pour les Parties à l'Annexe I. En juillet 1997, le gouvernement brésilien présenta à la COP 3, dans un document intitulé « Proposed elements of a Protocol to the UNFCCC »¹, une première version de ce que l'on appelle désormais la « Proposition Brésilienne », développée par plusieurs experts scientifiques menés par Luiz Gylvan Meira Filho, José Domingos Miguez et Luiz Pinguelli Rosa. La Proposition suggère un **plafond d'émissions général** pour tous les pays à l'Annexe I : ceux-ci devraient, d'ici 2020, réduire de 30% leurs émissions par rapport aux niveaux de 1990. D'autre part, elle fournit un **critère de répartition des efforts de réduction** entre ces pays : il s'agit d'une approche qui repose sur le principe de la **responsabilité historique** relative des pays dans la contribution à l'effet de serre d'origine anthropique. L'idée est de répartir les efforts de réduction d'émissions entre les pays à l'Annexe I selon l'effet de leurs émissions historiques cumulées (depuis 1840) sur la température globale moyenne de l'air en surface. Une succession de périodes d'engagement de 5 ans était prévue, qui s'étendraient de 2001 à 2020. La responsabilité historique de chaque Partie de l'Annexe I par rapport à la totalité des Parties de l'Annexe I serait à chaque fois recalculée pour déterminer l'objectif de réduction individuel, en fonction de l'objectif de réduction d'émissions pour la totalité des Parties à l'Annexe I.

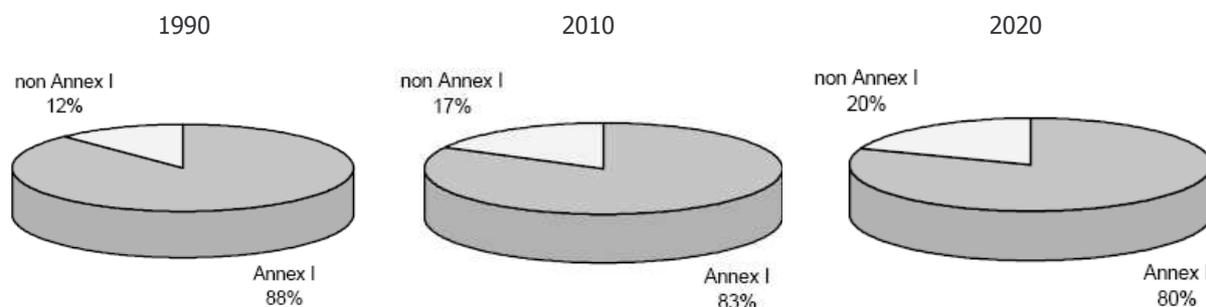
Quinze autres pays ont proposé des approches pour la répartition des efforts de réduction, dans le cadre du Mandat de Berlin. La Proposition Brésilienne se différencie principalement de celles-ci par le fait que la responsabilité de chaque pays dans les changements climatiques n'est pas calculée en terme de ses causes, à savoir les émissions de gaz à effet de serre, mais bien en termes de ses effets, c'est-à-dire la variation de température effectivement induite par ces émissions. L'augmentation de la température est donc un indicateur du changement climatique, qui peut être calculé à partir des émissions en utilisant un modèle simple ou un ensemble de modèles simples. La méthodologie suppose qu'il est possible de répartir les contributions au changement dans l'indicateur entre un certain nombre de sources (pays ou régions). Le document suggérait que les Parties se mettent d'accord sur un modèle climatique simple qui permettrait d'estimer l'élévation de la température causée par chaque pays individuel, à partir des données sur les émissions annuelles de ceux-ci. La Proposition du gouvernement brésilien fournissait, à titre d'exemple, un modèle pour estimer les responsabilités historiques, et tenter de chiffrer les objectifs de répartition qui en découlent pour les différents pays.

La Proposition Brésilienne poursuit un objectif d'équité dans le partage des responsabilités. Elle est née de la double constatation que les pays développés sont les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre du présent et surtout du passé, et que les émissions d'une année de référence ne traduisent pas entièrement la contribution d'un pays au réchauffement climatique. L'effet total est fonction des émissions cumulées, et l'augmentation de la température causée par les pays en développement ne sera égale à celle causée par les pays développés que dans de nombreuses années, bien après la date à laquelle les émissions des pays en développement rejoindront celles des pays développés. Dès lors, la Proposition fait peser la plus grande partie de l'effort à réaliser sur les pays qui se sont industrialisés le plus tôt. Cette proposition est cohérente avec le principe de responsabilités

¹ UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) – Ad Hoc Group on the Berlin Mandate, seventh session, *Implementation of the Berlin Mandate: Additional proposals from Parties – addendum – note by the secretariat*, 30 mai 1997.

communes mais différenciées (énoncé dans la Convention Cadre des Nations Unies), et également le principe du pollueur-payeur (internationalement reconnu)². En outre, elle suit le Mandat de Berlin qui invitait les pays industrialisés à prendre les premiers engagements.

Responsabilités relatives attribuables à chaque groupe de Parties, selon la date de calcul de l'augmentation de température (1990, 2010 et 2020) dues aux émissions de CO₂.



Source: Proposition Brésilienne originale: UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) – Ad Hoc Group on the Berlin Mandate, seventh session, Bonn 31 July – 7 August 1997: *Implementation of the Berlin Mandate: Additional proposals from Parties – addendum – note by the secretariat*, 30 mai 1997, p.21.

Finalement, la Proposition contenait un **mécanisme de pénalité** pour les pays industrialisés qui ne respecteraient pas leurs engagements de réductions. Ceux-ci se voient imposer une sanction financière fixée à 10 dollars US par tonne d'émissions de carbone qui dépasse leurs émissions maximales autorisées. Ces prélèvements servent à constituer un « **Fonds de Développement Propre** », permettant de financer dans les pays non compris à l'Annexe I des projets de réduction d'émissions ou, en moindre proportion, des projets d'adaptation au réchauffement. En ce qui concerne la répartition des fonds récoltés, les pays candidats dont l'impact sur le réchauffement atmosphérique est le plus élevé obtiennent la plus grande part du montant total du Fonds, des mesures étant les plus urgentes dans ces pays. Le but premier du Fonds est de permettre la participation des pays hors Annexe I à la réalisation des objectifs de la Convention, notamment par le biais du transfert de technologies.

La COP 3 n'a pas adopté la Proposition Brésilienne pour le Protocole de Kyoto.

Certains pays industrialisés estimaient que la Proposition Brésilienne pénalisait les pays pour des actions posées dans le passé, à une époque où les conséquences de l'émission de gaz à effet de serre étaient encore inconnues. Ils considéraient aussi que de nombreux biais existaient dans la méthode de calcul des responsabilités proposée. En ce qui concerne le Fonds pour un Développement Propre, des réserves ont également été émises quant au système de répartition des ressources financières qui avait pour conséquence de favoriser les plus gros émetteurs parmi les pays en développement.

Cependant, tant les pays en développement que les pays industrialisés appréciaient l'idée d'un dispositif qui permettrait aux pays hors Annexe I de participer aux efforts visant à atteindre les objectifs énoncés par la Convention. Dès lors, les négociations se basèrent sur cette idée pour créer l'actuel Mécanisme pour un Développement Propre, décrit à l'article 12 du Protocole de Kyoto. D'autre part, la COP 3 renvoya la Proposition Brésilienne à l'Organe Subsidaire de Conseil Scientifique et Technologique (SBSTA) pour des analyses scientifiques et méthodologiques plus poussées.

² LA ROVERE E.L., VALENTE DE MACEDO L. et BAUMERT K.A., "The Brazilian Proposal on Relative Responsibility For Global Warming", in BAUMERT K.A., BLANCHARD O., LLOSA S., PERKAUS J.F., *Building on the Kyoto Protocol – options for protecting the climate*, World Resource Institute, 2002.

En novembre **1998**, durant la COP 4, la délégation du Brésil organise une rencontre informelle sur l'évaluation de la Proposition Brésilienne, et soumet à cette occasion une version révisée de sa méthode de calcul de l'augmentation de la température liée aux émissions des différents pays, tenant compte des préoccupations soulevées par les experts. Des recherches ultérieures ont conclu que la plupart des défauts avaient été correctement corrigés dans la proposition révisée.

En mai **1999**, le Brésil organise une première rencontre d'experts à Cachoeira Paulista sur le thème des aspects scientifiques et de la disponibilité des données, dans le cadre de la Proposition Brésilienne. Les experts y concluent qu'il existe une base technique et scientifique suffisante pour rendre opérationnelle la Proposition Brésilienne. En novembre de la même année, la délégation brésilienne fait part d'une méthode de calcul nouvellement modifiée³. Le SBSTA investigate systématiquement les problématiques liées aux aspects scientifiques et méthodologiques des révisions de la proposition.

Les 28-30 mai **2001**, le Secrétariat de la Convention organise une deuxième rencontre d'experts à Bonn (Allemagne), dans le but de passer en revue les aspects scientifiques et méthodologiques de la Proposition Brésilienne, grâce au partage d'informations et au débat. Le Secrétariat invite à l'occasion toutes les Parties, y compris les Parties hors Annexe I, à apporter leur support à l'effort de recherche sur la Proposition Brésilienne et à nommer davantage d'experts, car il subsiste des questions qui requièrent d'être traitées plus en profondeur. Dans ce but, le Secrétariat encourage les institutions actives dans la recherche liée aux changements climatiques à participer à un exercice de modélisation coordonné, dénommé **ACCC (Assessment of Contributions to Climate Change)**. L'objectif premier de cet exercice est de produire des résultats d'attribution nouveaux et comparables qui pourraient être discutés à la prochaine rencontre d'experts. A cet effet, il fut demandé aux institutions participantes d'utiliser le modèle climatique ACCC décrit dans les « Termes de Références »⁴, et éventuellement un autre modèle climatique.

Les 25-27 septembre **2002**, le Secrétariat de la Convention organise à Bracknell (Royaume-Uni) une troisième rencontre d'experts pour évaluer les résultats préliminaires fournis par les institutions de recherche participantes⁵. Le cadre général de la Proposition Brésilienne semble prometteur, mais certaines questions restent encore à résoudre et doivent faire l'objet de travaux supplémentaires. A cette occasion, il encourage la coopération entre les scientifiques des pays développés et des pays en développement, car la plupart des institutions qui ont participé à l'exercice ACCC proviennent des pays développés.

Les 8-9 septembre **2003** est organisée à Berlin la quatrième rencontre d'experts sur la Proposition Brésilienne. Les experts y présentent des résultats et des découvertes additionnels, et revoient les progrès sur des sujets spécifiques liés aux aspects scientifiques et méthodologiques de la Proposition Brésilienne. Un groupe Ad-hoc est également formé pour la modélisation et l'évaluation des contributions au changement climatique, appelé groupe MATCH (ad hoc group for the modelling and assessment of contributions of climate change). Il est chargé de se pencher sur la question des incertitudes liées aux modèles de calcul, et également à la sensibilité des résultats aux choix effectués. Son objectif est de coordonner le déroulement des recherches, et d'organiser des rencontres d'experts pour fournir des

³ Décrite dans: GYLVAN MEIRA FILHO L. et DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ J., *Note on the Time-Dependent Relationship between Emissions of Greenhouse Gases and Climate Change*, January 2000, Ministry of Science and Technology – Federative Republic of Brazil.

⁴ UNFCCC, *Assessment of contributions to climate change, terms of reference*, 2002.

⁵ UNFCCC – SBSTA – seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda, *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.

informations quant aux implications des choix scientifiques, des choix de modèles et choix méthodologiques, tout en identifiant les avantages et inconvénients respectifs de ceux-ci.

En 2004 s'est tenue à Bonn la cinquième rencontre d'experts pour examiner les progrès réalisés sur les aspects scientifiques et méthodologiques de la Proposition Brésilienne.

En novembre/décembre 2005 a eu lieu à Montréal la COP 11, conjointement avec la première Rencontre des Parties au Protocole. Le SBSTA devait normalement y examiner les développements relatifs à la proposition brésilienne, mais il a été décidé de reporter les considérations relatives aux aspects scientifiques et méthodologiques à la 24^{ème} session du SBSTA, qui aura lieu en mai 2006.

En dehors du fait qu'elle ait mené au Mécanisme pour un Développement Propre, la Proposition Brésilienne a joué un rôle significatif dans les négociations à Kyoto. Elle a permis de mettre l'accent sur l'augmentation de la température au lieu des seules émissions, et a influencé le développement de nouveaux modèles climatiques. D'autre part, elle a permis d'impliquer davantage les pays en développement dans les discussions à propos des objectifs de réduction pour les pays industrialisés, en donnant une nouvelle dimension à la notion de responsabilité⁶.

Actuellement, lorsque l'on évoque la Proposition Brésilienne, on fait référence non pas à la Proposition originale de 1997, mais bien à l'un de ses éléments qui a persisté et évolué depuis l'adoption du Protocole de Kyoto: le modèle de **partage des efforts de réduction d'émissions** (burden-sharing scheme), qui se base sur la responsabilité historique de chaque pays dans les effets climatiques globaux. La question de la répartition des obligations de réduction entre des régions ou pays s'appelle la « **différentiation des engagements** ». Des études sont toujours en cours sur le sujet, et la Proposition Brésilienne reste toujours à l'heure actuelle le seul régime de différenciation des engagements futurs officiellement considéré, discuté et documenté par les Parties au sein de la Convention Cadre des Nations Unies.

⁶ LA ROVERE E.L., VALENTE DE MACEDO L. et BAUMERT K.A., op.cit.

PARTIE 2 : ANALYSE ET SYNTHÈSE

2.1. Les différents développements autour de la Proposition Brésilienne

Depuis l'adoption du Protocole de Kyoto (1997), le schéma de partage des efforts de la Proposition Brésilienne a été non seulement révisé par ses concepteurs, mais également étudié par d'autres chercheurs internationaux. Cette Proposition a considérablement évolué grâce à ces travaux.

Il existe deux principaux objets d'analyse liés à la Proposition Brésilienne : les questions « scientifiques » et « méthodologiques ». Les questions scientifiques traitent de la robustesse des modèles dans l'attribution du changement climatique anthropique aux différentes sources d'émissions de gaz à effet de serre, et des impacts de certains choix scientifiques sur les résultats de ces calculs. Les « choix méthodologiques » renvoient à des variables dans les calculs, dont les valeurs ne peuvent pas être uniquement basées sur des arguments objectifs (« scientifiques »). Bien que la science permette d'éclairer les conséquences liées à ces choix, ils relèvent finalement de la politique.

La « responsabilité historique » ou « attribution » est définie comme la contribution relative de différentes sources d'émissions (un pays ou un groupe de pays) au changement climatique global⁷.

2.1.1. Paramètres testés et calcul des contributions (en utilisant les valeurs par défaut)

Avant d'aborder les aspects scientifiques et méthodologiques, il convient de spécifier les paramètres utilisés pour réaliser les calculs d'attribution. Les analyses desquelles sont tirés les résultats présentés dans cette deuxième partie de notre travail se basent sur les « Termes de Référence » de l'exercice de modélisation coordonné ACCC, évoqué précédemment, dont l'objectif est de fournir des informations identiques à tous les groupes de chercheurs pour obtenir des résultats comparables. Cet exercice comportait deux phases : phase 1 = modéliser le forçage radiatif⁸, l'élévation de la température et du niveau de la mer (ou d'autres

⁷ HÖHNE N. et BLOK K., "Calculating historical contributions to climate change – discussing the 'Brazilian proposal'", *Climatic Change*, vol.71, n°1-2, juillet 2005.

⁸ Selon le GIEC, le forçage radiatif est « la variation de l'éclairement énergétique vertical net [exprimé en Watts par mètre carré (W/m²)] à la tropopause par suite d'un changement interne ou d'une modification du forçage externe du système climatique – par exemple une modification de la concentration de dioxyde de carbone ou de la production solaire. » (GIEC, *Bilan 2001 des Changements Climatiques - Troisième Rapport d'Evaluation*, Volume 1 : « Les éléments scientifiques », 2001, p.84). Plus simplement, le forçage radiatif peut être défini comme une mesure de l'influence qu'un facteur a dans l'altération de l'équilibre entre les entrées et les sorties d'énergie dans le système terre-atmosphère.

Les planètes de notre système solaire sont en équilibre énergétique. Elles reçoivent beaucoup d'énergie du soleil sous forme de rayonnement ultra-violet. Elles émettent de l'énergie vers l'espace sous forme d'Infra-rouge. Cette deuxième forme de rayonnement n'a pas une fréquence visible. Cet échange radiatif permet de maintenir l'équilibre énergétique de la planète. On appelle forçage radiatif, tout phénomène qui influe sur le comportement du rayonnement. Pour le bilan radiatif de la terre : (1) le forçage radiatif est positif lorsque de l'énergie émise par la terre sous forme d'Infrarouge, au lieu d'être renvoyé vers l'espace, est intercepté pour être renvoyé vers les couches basses de l'atmosphère. (2) le forçage radiatif est négatif lorsque de l'énergie envoyée par le soleil sous forme d'Ultra-violet est renvoyé vers l'espace avant d'avoir réchauffé les couches basses de l'atmosphère.

Un forçage radiatif positif provoque une augmentation de chaleur au niveau du sol, un forçage radiatif négatif provoque un refroidissement au niveau du sol. Les gaz à effet de serre ont un forçage radiatif positif. Ils

indicateurs) en fonction des concentrations de gaz ; phase 2 = attribuer les changements observés dans ces indicateurs aux émissions de régions particulières.

Les « Termes de Référence » spécifient les paramètres qui seront examinés (indicateurs du changement climatique, cadres temporels pour les calculs, données d'émissions historiques à utiliser, paramètres pour les modèles climatique et de cycle du carbone, etc.), et qui font partie des choix scientifiques et méthodologiques. Ils donnent pour chacun de ces paramètres **plusieurs valeurs alternatives** qu'il est intéressant de tester. Ces informations sont partiellement basées sur les calculs initialement présentés par le Brésil. Ce sont tous ces aspects (présentés dans le tableau ci-dessous) qui sont analysés dans les points qui suivent. En général, l'on ne fait varier qu'un seul paramètre à la fois. Dès lors, **chaque paramètre possède une valeur « par défaut »** qui est utilisée dans tous les cas où l'impact du choix de la valeur d'un autre paramètre est testé. Ces valeurs « par défaut » sont soulignées dans le tableau, pour chaque paramètre.

Ce tableau permet de visualiser la liste des choix qui sont détaillés dans les pages suivantes. Les explications qui se rapportent à chacun d'eux peuvent être trouvées un peu plus loin.

Spécifications des choix scientifiques et méthodologiques de l'exercice ACCC, avec le cas par défaut (souligné) et les alternatives testées

Choix scientifiques

Choix des données d'émissions	Base de données CDIAC (CO ₂ de sources fossiles ⁹ , CO ₂ lié aux changements dans l'utilisation des sols ¹⁰), <u>EDGAR</u> (gaz Kyoto et précurseurs de l'ozone) ¹¹ , <u>IVIG-HYDE</u> ¹²
Choix de la représentation du système climatique	Modèle ACCC par défaut

Choix méthodologiques

Indicateurs	Emissions cumulées, Concentrations, Forçage radiatif, <u>Augmentation de la température</u> , Elévation du niveau de la mer.
Cadre temporel - date de début d'attribution - date de fin d'attribution - date d'évaluation	1765, <u>1890</u> , 1950 et 1990 1990, <u>2000</u> , 2050 et 2100 <u>2000</u> , <u>2050</u> , 2100 et 2500
Gaz à effet de serre et sources prises en considération	- CO ₂ provenant de sources fossiles - CO ₂ de toutes origines anthropiques - [<u>CO₂, CH₄, N₂O</u>] - tous les gaz Kyoto (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆) - tous les gaz Kyoto + les précurseurs de l'ozone troposphérique (NO _x , COV et CO)
Méthodes d'attribution	<u>Marginale normalisée</u> , proportionnelle, résiduelle et time-sliced

Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.617.

augmentent la température au sol en empêchant les infra-rouge de rayonner vers l'espace. Les aérosols ont un forçage radiatif qui varie selon leur type et leur couleur. Le forçage radiatif global de l'ensemble des aérosols est légèrement négatif. (http://info.effetserre.free.fr/Phenomene/Forçage_Radiatif.html)

⁹ Marland et al. (1999) (http://cdiac.esd.ornl.gov/emis/tre_glo.htm)

¹⁰ Houghton (1999) (<http://cdiac.ornl.gov/trends/landuse/houghton/houghton.html>)

¹¹ Van Aardenne et al. (2001) (<http://www.rivm.nl/env/int/hyde>)

¹² de Campos et al. (2005)

Les « Termes de Référence » précisent en outre que les calculs doivent être réalisés pour au moins quatre régions (ou groupes de pays¹³), que nous retrouverons dans tous les graphes qui suivent. Il s'agit de :

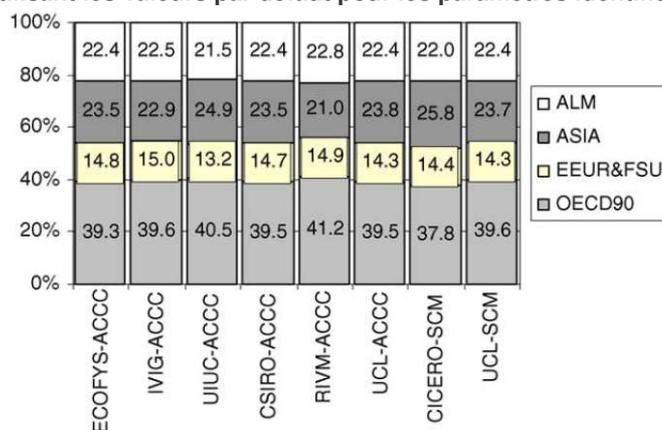
- OECD90 => Membres de l'OCDE en 1990
- EEUR&FSU => Europe de l'Est et Ex-URSS
- Asia => pays d'Asie
- ALM => Afrique, Amérique Latine et Moyen-Orient

Dans certains cas, les responsabilités historiques relatives sont calculées pour sept régions sélectionnées, au lieu de quatre, car celles-ci sont représentatives des plus « importantes » Parties (actuelles ou futures) à la Convention Cadre des Nations Unies : les Etats-Unis, la partie européenne de l'OCDE, l'ex-URSS, l'Asie du sud, l'Asie de l'est, l'Afrique, et l'Amérique latine.

Lors de la troisième rencontre d'experts sur la Proposition Brésilienne, seize groupes de recherche ont chacun présenté un modèle climatique qui permet de calculer les variations de la température moyenne globale et du niveau de la mer, à partir des émissions historiques, et permet également d'attribuer les responsabilités dans les changements climatiques. Ceux-ci se basent tous sur les « Termes de Référence ». Certains modèles climatiques utilisent une approche simple basée sur celle de la Proposition Brésilienne originale, d'autres sont plus complexes (un modèle trop simple néglige certains gaz et certains feedbacks du système climatique, ce qui peut entraîner des biais). Il est ressorti de cet exercice que les résultats obtenus ne diffèrent que très légèrement.

Ici, nous comparons seulement les résultats obtenus par huit modèles climatiques. En effet, le modèle simple spécifié dans les « Termes de Référence » de l'ACCC (qui sera par la suite choisi par défaut) a été appliqué par plusieurs groupes de recherche, donnant lieu à des variations de celui-ci : ECOFYS-ACCC (Höhne et Blok, 2005), IVIG-ACCC (Rosa et al., 2004), UCL-ACCC, UIUC-ACCC (Andronova et Schlesinger, 2004), CSIRO-ACCC (Trudinger and Enting, 2005) and RIVM-ACCC (den Elzen et al., 2002, 2005) (Table 2). Deux autres modèles sont également inclus dans l'analyse : CICERO-SCM et UCL-JCM. Ces modèles ont des complexités variables, et leurs principales différences résident dans l'inclusion ou l'exclusion de forçages additionnels.

Calcul des contributions relatives des différentes régions aux indicateurs du changement climatique (réalisé en utilisant les valeurs par défaut pour les paramètres identifiés par l'ACCC)



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.619.

¹³ En raison d'un manque de données d'émissions historiques suffisantes au niveau national, les responsabilités relatives ne sont généralement pas calculées pour chaque pays, mais bien pour des « groupes de pays » variables.

Les résultats des différents modèles sont présentés dans le graphe ci-dessus. Il apparaît que les résultats provenant des différents modèles sont assez similaires. Si l'on s'intéressait aux différences absolues dans la variation de température calculée par les différents modèles, les résultats seraient assez différents. Cependant, il s'agit ici de déterminer la contribution relative des différentes régions, et dans ce cas les résultats sont assez cohérents malgré des modèles assez différents.

En résumé, les contributions moyennes calculées selon ces modèles sont d'environ 40% (37.8– 41.2%) pour les pays qui faisaient partie de l'OCDE en 1990, 14% (13.2–15.0) pour l'Europe de l'Est et l'ex-URSS, 24% (21.0–25.8) pour l'Asie et 22% (21.5–22.8) pour le groupe de l'Afrique, l'Amérique latine et le Moyen-Orient. Bien entendu, ceci ne constitue qu'une évaluation de la sensibilité au choix du modèle, et non une analyse complète des incertitudes liées aux calculs de la Proposition Brésilienne, étant donné que ces calculs sont réalisés sur base des valeurs par défaut. Dans les deux sections suivantes, nous allons analyser successivement les impacts des choix scientifiques et méthodologiques sur les résultats d'attribution des responsabilités aux différentes régions.

2.1.2. Choix scientifiques¹⁴

Plusieurs experts avaient identifié des défauts dans la Proposition Brésilienne originale, dont le modèle climatique était selon eux trop simplifié. En 1998 le Brésil soumit une version révisée de sa Proposition et, lors de la rencontre d'experts à Cachoeira Paulista (Brésil) en 1999, les experts ont conclu qu'il y avait une base scientifique et technique suffisante pour appliquer la Proposition Brésilienne révisée.

Cependant, en 1999 den Elzen¹⁵ estime que la méthodologie révisée, bien qu'étant une amélioration majeure par rapport à la Proposition originale, contient encore d'importants défauts¹⁶, et que ceux-ci pourraient être corrigés en utilisant des techniques et des procédés qui sont déjà disponibles dans d'autres modèles. En outre, il apparaît que certains aspects scientifiques ont besoin d'être évalués et compris de façon plus approfondie, pour mieux saisir les incertitudes liées aux calculs. Dans cette optique, différents chercheurs se sont penchés sur ces questions.

Nous n'analyserons pas ici les incertitudes scientifiques totales liées au modèle utilisé par la Proposition Brésilienne. Il s'agit plutôt de déterminer l'impact de certains choix scientifiques qui doivent être effectués (en raison des connaissances scientifiques actuelles

¹⁴ Source principale pour ce point : DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005.

Sources supplémentaires :

DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M. et LUCAS P., "Differentiating future commitments on the basis of countries' relative historical responsibility for climate change: uncertainties in the 'Brazilian proposal' in the context of a policy implementation", *Climatic Change*, vol.71, n°3, août 2005.

DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M., "Responsibility for past and future global warming: uncertainties in attributing anthropogenic climate change", *Climatic Change*, vol.54, n°1-2, juillet 2002.

UNFCCC – SBSTA – seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda, *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.

¹⁵ DEN ELZEN M.G.J., op.cit.

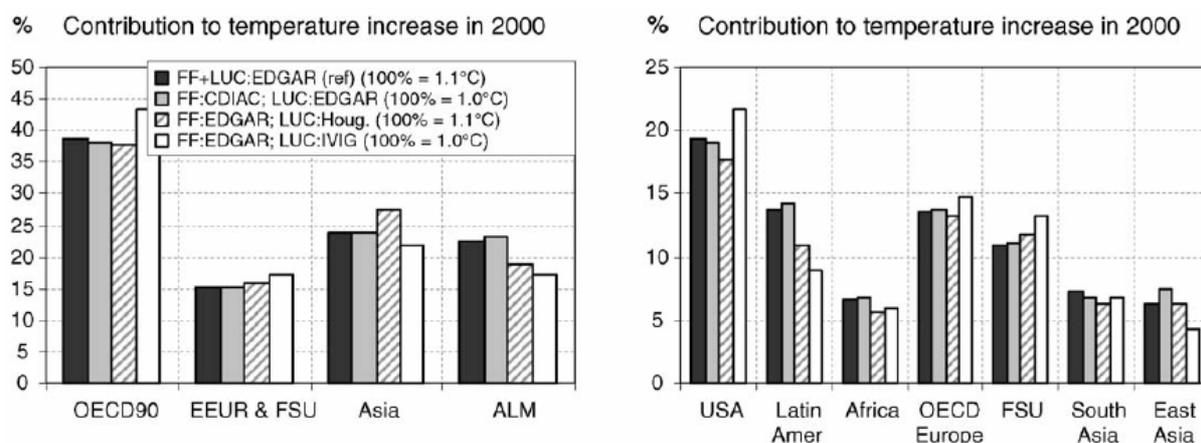
¹⁶ Le modèle révisé « ignore encore la partie terrestre du cycle du carbone, et se focalise seulement sur la lente dynamique (océanique) du carbone » ; il contient certaines autres caractéristiques qui « semblent différer de celles des autres modèles climatiques ». L'effet total, selon den Elzen, est une « surestimation de la contribution des Parties à l'Annexe I à l'élévation de la température.

limitées) lorsque l'on calcule les contributions aux changements climatiques. Sur base des « Termes de Référence » de l'exercice de modélisation coordonné ACCC et des travaux de plusieurs de ses participants, le groupe MATCH présente deux choix principaux : le choix des « bases de données d'émissions historiques » et le « modèle de représentation du système climatique ». D'autres incertitudes scientifiques existent et peuvent influencer les résultats, mais le groupe MATCH s'est limité jusqu'à présent à ces deux choix, car leurs outils de modélisation permettaient de les quantifier.

2.1.2.1. Choix des données d'émissions historiques

L'une des sources d'incertitude est liée à la détermination des émissions historiques par pays, en raison du manque de statistiques fiables ou d'une absence complète de données sur les activités et les facteurs d'émissions, particulièrement avant 1950.

Les responsabilités relatives des différents groupes de pays varient assez fortement selon les bases de données qui sont choisies pour effectuer les calculs d'attribution, comme le montre l'histogramme ci-dessous.



Légende : FF = émissions (fossiles) de CO₂ ; LUC = émissions de CO₂ liées aux changements dans l'utilisation des sols. Les émissions historiques de CH₄ et de N₂O se basent sur la base de données EDGAR dans tous les cas.

(Les nombres donnés entre parenthèses dans la légende montrent l'ampleur du réchauffement qui est le sujet de l'attribution.)

Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.630.

Les données concernant les émissions historiques de CO₂ liées aux combustibles fossiles et à la production de ciment sont les plus fiables, et deux bases de données réunissent les données disponibles par pays ou par régions : EDGAR et CDIAC-ORNL. Nous voyons sur le graphe que choisir l'une ou l'autre n'a qu'un impact limité sur les résultats de contributions relatives.

En ce qui concerne les émissions de CO₂ liées aux changements dans l'utilisation des sols, trois bases de données alternatives ont été testées : Houghton, EDGAR, et IVIG-HYDE. Ici, les différences dans les contributions estimées sont plus significatives. Le fait de choisir la base de données Houghton augmente les contributions de l'Asie et fait diminuer les contributions de l'Amérique latine. Par contre, choisir IVIG-HYDE décroît les contributions des pays non Annexe I et augmente les contributions de l'Annexe I, par rapport aux deux autres bases de données. Nous pouvons déduire du graphe de droite que le choix de la base de données concernant les émissions liées aux changements dans l'utilisation des sols a une influence assez forte sur les contributions, et tout spécialement pour les régions non Annexe I (car les émissions liées aux changements dans l'utilisation des sols y sont importantes, en

comparaison des émissions liées aux combustibles fossiles). Ces différences d'estimations donnent lieu à une incertitude importante.

Quant aux émissions d'autres gaz que le CO₂, une seule base de données (EDGAR) existe, et les estimations de celle-ci ne sont pas entièrement fiables. Cette base de données a été utilisée pour tous les calculs de contributions relatives.

Les auteurs notent toutefois que l'influence des incertitudes liées aux estimations des émissions historiques décroît rapidement avec le temps, en raison de l'effet dominant du CO₂ issu de sources fossiles (pour lequel les données sont les plus fiables) parmi les émissions totales de gaz à effet de serre, et du déclin atmosphérique des émissions passées.

2.1.2.2. Choix de la représentation du système climatique (carbon cycle and climate model and feedbacks)

Modèles climatiques globaux

Nous avons déjà vu dans le cas par défaut que les neuf modèles climatiques globaux testés donnent des résultats assez similaires, bien qu'ils soient basés sur des IRFs (Impulse Response Functions) différentes, et représentent donc de façon différente la sensibilité climatique du système atmosphère-océan au forçage radiatif d'origine anthropique. Les calculs pour le cas par défaut de l'ACCC montrent des différences de moins d'1% dans l'attribution des contributions aux régions, selon le modèle utilisé¹⁷. Ceci confirme une conclusion établie précédemment : l'impact des IRFs sur les contributions relatives des différentes régions est limité, surtout dans la première moitié du 21^{ème} siècle¹⁸.

Modèles du cycle du carbone et feedbacks climat-carbone¹⁹

L'effet de variations du modèle du cycle du carbone et des feedbacks climat-carbone a été examiné à l'aide de l'un des neuf modèles évoqués précédemment (le modèle climatique JCM, qui n'est pas le modèle par défaut). Huit variantes ont été envisagées, augmentant progressivement la complexité du modèle du cycle du carbone et ajoutant des feedbacks²⁰. Chaque feedback ajouté a pour effet d'augmenter les concentrations atmosphériques de CO₂ et d'augmenter les changements absolus dans les températures. Cependant, leur effet sur les attributions relatives est petit (maximum 4% de variation par rapport aux résultats du modèle par défaut), augmentant en général la contribution des émetteurs précoces.

Capacité d'oxydation troposphérique

Certains auteurs ont fait remarquer à la troisième rencontre d'experts qu'il existait également des non-linéarités additionnelles dans la chimie atmosphérique, et notamment en ce qui concerne les concentrations de méthane et de HFCs. La durée de vie de ces gaz est sensible à des changements dans les processus chimiques atmosphériques : ils réagissent avec les radicaux hydroxyle (OH) qui leur servent de puits. Or, ces OH dépendent des concentrations de différents gaz, dont le méthane, le CO, les COV et les NO_x, les radiations UV et la vapeur d'eau. Un des choix à faire lors de l'élaboration d'un modèle climatique global est donc le fait

¹⁷ DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit.

¹⁸ DEN ELZEN, SCHAEFFER, op.cit.

¹⁹ DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit.

²⁰ Un mécanisme d'interaction entre des processus du système climatique est appelé *rétroaction climatique* (ou *feedback*) lorsque le résultat d'un processus initial provoque, dans un second processus, des changements qui influent à leur tour sur le processus initial. Une rétroaction positive intensifie le processus initial, et une rétroaction négative l'atténue. (GIEC) Nous choisissons de ne pas en présenter les détails dans le cadre du présent travail.

d'inclure ou non ces non-linéarités dans les calculs des concentrations en méthane. Cependant, ce choix est important dans la détermination de niveaux absolus de méthane, mais son effet sur les contributions relatives est négligeable²¹.

Parmi les incertitudes scientifiques, il faudrait également ajouter les incertitudes liées aux scénarios d'émissions futures (notamment ceux du GIEC) dont les modèles se servent pour les calculs d'attribution²² (ces scénarios influencent les contributions relatives lorsque l'on modifie la date de fin d'attribution par rapport au cas par défaut, comme nous le verrons). Ce sujet n'est pas traité ici.

En guise de conclusion sur les aspects scientifiques, den Elzen et Schaeffer²³ concluent que les incertitudes de modèles sont relativement peu importantes dans la détermination des responsabilités relatives, et donnent lieu à seulement quelques pourcents d'incertitude dans la responsabilité relative des différentes régions. Bien entendu, les auteurs précisent que c'est au lecteur de décider quelle incertitude est « acceptable » dans l'évaluation des contributions des Parties individuelles au problème des changements climatiques.

En fonction de l'état d'avancement des travaux du groupe MATCH, nous n'avons été en mesure de présenter ici qu'une partie des incertitudes liées aux calculs d'attribution des responsabilités relatives des différentes régions aux changements climatiques. Le groupe va prochainement publier un nouvel article, qui examine l'incertitude complète liée aux calculs d'attribution et aux émissions telles qu'elles sont rapportées, pour une période allant de 1990 à 2000.

2.1.3. Choix méthodologiques

Comme nous l'avons déjà dit, les choix méthodologiques ne peuvent pas se faire « objectivement » en se basant uniquement sur des arguments scientifiques. Ils sont pourtant cruciaux, dans la mesure où ils donnent une « définition » à la Proposition Brésilienne. Ces décisions ont des conséquences en termes de responsabilité relative des différentes régions. Nous examinerons quatre choix méthodologiques qui apparaissent en général dans la littérature : l'indicateur, le cadre temporel, les gaz à effet de serre & les sources prises en considération, et enfin la méthode d'attribution des effets aux différentes sources d'émissions (comme présentés dans le tableau page 20).

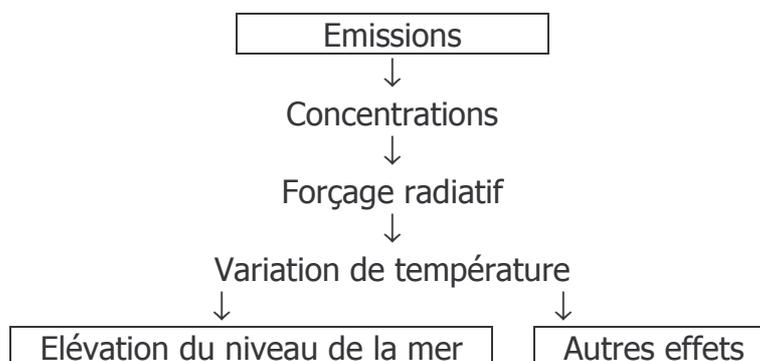
²¹ DEN ELZEN, SCHAEFFER, op.cit.

²² DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, op.cit.

²³ DEN ELZEN, SCHAEFFER, op.cit.

2.1.3.1. INDICATEURS DES EFFETS DES EMISSIONS HISTORIQUES, UTILISÉ POUR LE CALCUL D'ATTRIBUTION DES RESPONSABILITÉS²⁴

Pour calculer la contribution des sources des gaz à effet de serre au changement climatique, et avant d'aborder les indicateurs proprement dits, il est utile d'avoir en tête les étapes successives qui composent le système climatique. Celui-ci peut être représenté sous forme d'une **chaîne de causes à effets**²⁵.



Les *émissions* de gaz à effet de serre (également les aérosols) induisent une modification de la *concentration de ces gaz* (et d'autres gaz) dans l'atmosphère. Ce changement modifie le *forçage radiatif*. A son tour, le forçage radiatif modifié provoque un *changement dans la température* globale moyenne de surface. Ceci se fait avec un certain retard par rapport à la modification initiale des émissions. Les variations de température (ainsi que le taux de variation) entraînent divers effets, dont l'*élévation du niveau de la mer* et des modifications dans les précipitations, pouvant donner lieu à des dommages.

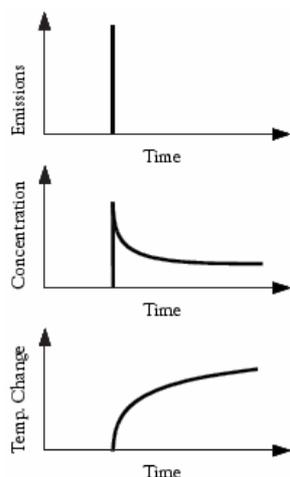
Etant donné que la proposition brésilienne adopte une approche historique, il est important de comprendre les délais qui existent entre les effets respectifs. Un schéma²⁶ de la relation temporelle entre émissions, concentrations, et variations de la température aide à comprendre les mécanismes en jeu dans les changements climatiques.

²⁴ Le point 2.1.3.1. se base principalement sur ces sources:

- HÖHNE et BLOK, op.cit.
- DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, op.cit.
- DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit. / LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit.
- UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.
- PINGUELLI ROSA L., KAHN RIBEIRO S., MUYLEAERT M.S. et PIRES DE CAMPOS C., Comments on the Brazilian Proposal and Contributions to Global Temperature Increase with different Climate Responses – CO2 emissions due to Fossil Fuels, CO2 Emissions due to Land Use Change, International Virtual Institute of Global Change, Brésil, 2004, 25pp.
- PINGUELLI ROSA L., MUYLEAERT M.S. and PIRES DE CAMPOS S., *The Brazilian proposal and its Scientific and Methodological Aspects: working draft*, International Institute for Sustainable Development & Climate Change Knowledge Network, 2003, 11pp

²⁵ source : UNFCCC – Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) (fourteenth session, Bonn, 16-27 July 2001, item 4 of the provisional agenda), *Scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil. Progress report on the review of the scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil – Note by the secretariat*, 10 Juillet 2001.

²⁶ Source : LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit.



Si l'on considère des émissions de gaz à effet de serre à un point précis dans le temps (et aucunes émissions avant ni après ce moment), l'on peut s'attendre à une augmentation immédiate de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère. Cette concentration diminuera progressivement, en raison du déclin naturel du gaz dont le temps de résidence est limité (environ 140 ans pour le CO₂ et 12 ans pour N₂O et CH₄). Pendant tout le temps où la concentration du gaz est supérieure à sa concentration avant le point d'émissions, celui-ci exercera un forçage radiatif positif et contribuera à l'élévation de la température. Il est à noter que la variation de température débutera au moment des émissions mais se prolongera dans le futur même lorsque les concentrations du gaz sont en baisse. En ce qui concerne l'élévation du niveau de la mer (non représentée sur le schéma), elle se produira avec un retard encore nettement plus important, en raison de la lenteur de réponse du système océanique. Des « délais » apparaissent ainsi à chaque étape de la chaîne de causes à effets qui lie les émissions aux impacts de celles-ci.

La Proposition Brésilienne vise à partager les efforts de réduction selon la responsabilité historique, qui est ici définie comme la contribution relative de différentes sources d'émissions au réchauffement climatique global²⁷. Il faut choisir un indicateur de cette contribution relative, qui accumule les effets des émissions historiques. Celui-ci sera choisi à l'une des étapes de la chaîne de causes à effets allant des émissions aux impacts climatiques de celles-ci.

La Proposition Brésilienne suggérait l'utilisation de l'« *augmentation moyenne de la température globale de l'air en surface* » comme meilleur indicateur du changement climatique. Cependant, dès 2001 lors de la deuxième rencontre d'experts à Bonn, ceux-ci notent qu'il existe d'autres indicateurs susceptibles d'évaluer les contributions respectives au changement climatique, situés à d'autres étapes de la chaîne de causes à effets du changement climatique.

L'idée centrale de la Proposition Brésilienne est qu'il existe un lien fonctionnel entre les émissions de gaz à effet de serre et l'augmentation de la température (ou d'autres indicateurs le long de la chaîne de causes à effets), tel que l'indicateur peut être calculé à partir des émissions en utilisant un modèle simple ou un ensemble de modèles simples.

L'indicateur agit comme « substitut » des impacts climatiques, qui sont plus difficiles à calculer directement. La méthodologie de la Proposition Brésilienne suppose également qu'il est possible de partager les contributions au changement de l'indicateur entre un certain nombre de sources et d'émetteurs (par exemple des pays ou des régions).

Les responsabilités imputées aux différents pays pourront varier selon l'indicateur qui est utilisé.

Les indicateurs évoqués à Bonn en 2001

Différents indicateurs ont été examinés lors de cette rencontre d'experts à Bonn :

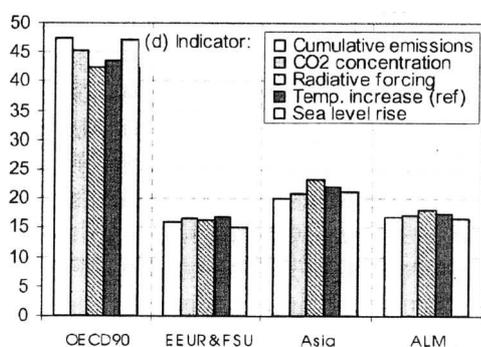
- **Emissions cumulées** : il s'agit de la somme des émissions annuelles d'une source, calculée entre une date de début et une date de fin. Un inconvénient lié à cet indicateur est qu'il peut seulement être appliqué pour un gaz à effet de serre à la fois (en général, uniquement le CO₂), et les effets de plusieurs gaz ne peuvent pas être comparés.

²⁷ HÖHNE et BLOK, op.cit.

Toutefois, il est possible de remédier à ce problème en ayant recours aux **émissions cumulées pondérées par le Potentiel de Réchauffement Global**²⁸ (PRG).

- **Concentrations** : Cet indicateur prend en compte l'effet de toutes les émissions entre deux dates sur les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère à la date de fin. Tout comme pour les émissions, cet indicateur peut seulement être appliqué pour un gaz à la fois (le plus couramment le CO₂), à moins d'appliquer le PRG.
- **Forçage radiatif** (dû aux concentrations accrues) : il s'agit, pour une année donnée, du forçage radiatif causé par une augmentation dans les concentrations entre une date de départ et cette date donnée. Les effets de différents gaz peuvent être combinés avec cet indicateur. Cela se fait par l'intermédiaire du concept de Potentiel de Réchauffement Global précédemment évoqué, qui rend comparables les effets de différents gaz à effet de serre.
- **Augmentation de la température** : augmentation de la température globale moyenne de surface, due aux émissions. Le calcul prend en compte l'effet des émissions sur les concentrations et sur le forçage radiatif, entre une date de début et une date de fin. C'est l'indicateur qui est privilégié par la Proposition Brésilienne.
- **Élévation du niveau de la mer** : cet indicateur est celui qui réagit le plus lentement aux variations dans les émissions. En effet, le processus d'expansion thermique de l'eau et de fonte des glaces est très lent, et les niveaux de la mer augmentent très lentement (de l'ordre de milliers d'années). Lors de la troisième rencontre d'experts en 2002, les experts ont fait remarquer que cet indicateur est d'intérêt considérable pour de nombreux pays côtiers, mais que tous les pays ne sont pas affectés par l'élévation du niveau de la mer, alors que l'augmentation de la température les affecte tous.

Responsabilité historique de différentes régions du monde au changement climatique, selon plusieurs indicateurs²⁹



- OECD90 => Membres de l'OCDE en 1990
- EEUR&FSU => Europe de l'Est et Ex-URSS
- Asia => pays d'Asie
- ALM => Afrique, Amérique Latine et Moyen-Orient

Ces indicateurs sont tous envisagés pour de larges régions car les calculs nécessaires pour leur estimation par pays seraient extrêmement complexes et moins fiables.

Source: DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M. et LUCAS P., "Differentiating future commitments on the basis of countries' relative historical responsibility for climate change: uncertainties in the 'Brazilian proposal' in the context of a policy implementation", *Climatic Change*, vol.71, n°3, août 2005, pp.285.

²⁸ Potentiel de réchauffement global (PRG) : Indice décrivant les caractéristiques radiatives des mélanges homogènes de gaz à effet de serre, qui représente l'effet combiné des temps de séjour différents de ces gaz dans l'atmosphère et de leur pouvoir relatif d'absorption du rayonnement infrarouge sortant. Cet indice donne une valeur approximative de l'effet de réchauffement intégré dans le temps d'une masse unité d'un gaz à effet de serre donné dans l'atmosphère actuelle par rapport à celui du dioxyde de carbone. (GIEC, *Bilan 2001 des Changements Climatiques - Troisième Rapport d'Evaluation*, Volume 1 : « Les éléments scientifiques », 2001, p.86)

²⁹ Les autres choix méthodologiques sont conformes aux recommandations de l'ACCC, comme spécifié plus haut.

Cet histogramme illustre les conséquences des délais dont nous avons parlé précédemment en terme de partage des responsabilités dans le changement climatique. Il évalue en effet des indicateurs situés de plus en plus bas dans la chaîne de cause à effet du changement climatique.

Le fait que les émissions d'une région soient plutôt « précoces » ou plutôt « tardives » a dès lors une influence majeure sur les différences entre responsabilités historiques attribuées selon les différents indicateurs. Pour les émetteurs précoces (tels que l'OCDE), les contributions sont réduites en choisissant un indicateur qui diminue le délai entre émission et impact mesuré par l'indicateur. Dès lors, leurs contributions sont plus faibles pour l'indicateur *forçage radiatif* que pour l'indicateur *augmentation de la température*, ou *élévation du niveau de la mer* (lorsque l'on les mêmes dates d'attribution et d'évaluation). Ces résultats s'expliquent par le fait que l' « âge » moyen des émissions des pays industrialisés est nettement plus élevé que celui des pays en développement. Les émissions plus récentes de ces derniers mettront un certain temps avant d'atteindre leurs effets maximaux. Plus l'indicateur choisi se situe bas dans la chaîne, plus la part de responsabilité attribuée aux pays industrialisés est grande. Il s'ensuit, selon le principe de la Proposition Brésilienne, que les efforts de réduction exigés des pays industrialisés seront plus élevés si l'on choisit un indicateur situé plus bas que les émissions dans la chaîne de cause à effet (en supposant que la Proposition Brésilienne s'applique aussi bien aux pays Annexe I que hors Annexe I, ce qui n'était pas le cas dans la proposition originale).

En ce qui concerne l'indicateur *concentration en CO₂*, il a tendance à réduire la contribution des pays hors Annexe I car il prend seulement en compte les émissions de CO₂, et les régions non Annexe I émettant plus d'autres gaz (tels que le méthane) que les pays de l'Annexe I.

L'indicateur *émissions cumulées* montre les contributions OCDE les plus élevées, puisque cet indicateur ne tient pas compte du déclin atmosphérique des émissions historiques (il n'est pas « backward discounting³⁰ »).

Pour évaluer les différents indicateurs, différents critères ont été relevés par les experts lors de leur rencontre à Bracknell en 2002 :

- **Proximité aux impacts** : l'indicateur idéal devrait être proche des impacts du changement climatique, pour augmenter sa pertinence. Il devrait pouvoir mesurer le potentiel de dommages, non réalisé, induit par les changements climatiques. Cela implique qu'il se situe assez bas dans la chaîne de cause à effet.
- **Compréhension** : l'indicateur doit pouvoir être compris par les scientifiques et les représentants des gouvernements. De plus, il faut que la manière d'attribuer l'indicateur aux différentes sources d'émissions soit claire.
- **Certitude** : Les méthodes de calcul d'imputation qui utilisent l'indicateur doivent être fiables, et il faut une disponibilité suffisante des données nécessaires pour calculer l'indicateur. Cela permet de valider les changements totaux à l'échelle globale, et permet une plus grande confiance dans les modèles choisis. Chaque étape qui descend dans la chaîne de causalité introduit davantage d'incertitude, en raison d'une étape supplémentaire et de non-linéarités dans les calculs. La manière dont l'indicateur prend en compte les émissions précoces influence aussi la certitude (voir point suivant).
- **Backward discounting** : Si l'indicateur accorde moins de poids aux émissions précoces (qui ont eu lieu il y a longtemps) qu'aux émissions tardives (récentes), il peut être qualifié de « backward discounting ». Les experts semblent s'accorder sur le

³⁰ Cette notion sera expliquée plus tard.

fait que les émissions du passé lointain peuvent influencer le climat aujourd'hui dans une moindre mesure que les émissions récentes, ce qui justifierait l'utilisation d'un indicateur « backward discounting ». Par exemple, la concentration actuelle de méthane n'est pas influencée par les émissions de méthane d'il y a 100 ans : étant donné le bref temps de résidence du méthane dans l'atmosphère, ces émissions ont décliné presque complètement entre-temps. Par contre, il leur est difficile de déterminer à quel point le « backward discounting » est souhaitable.

Le tableau présenté ci-dessous offre un aperçu des caractéristiques des indicateurs évoqués, d'après les conclusions de la deuxième rencontre d'experts à Bracknell. Le nombre de cercles indique si le critère s'applique plus ou moins à l'indicateur, en comparaison des autres indicateurs.

	Proximité aux impacts	Compréhension	Certitude	Backward discounting
Emissions cumulées	-	●●●●●	●●●	-
Concentrations	●	●●●●●	●●●	●●●
Forçage radiatif	●●	●●	●●	●●●
Augmentation de la température	●●●●●	●●●●●	●●	●●
Élévation du niveau de la mer	●●●●●	●●●●●	●	●

source : adapté de UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002, p.10.

Sur base de ce tableau, les experts ont conclu en 2002 que les indicateurs les plus appropriés sont l'*augmentation de la température* et l'*élévation du niveau de la mer*. Rappelons que la Proposition Brésilienne originale prône l'utilisation de l'*augmentation de la température* comme indicateur.

Quoiqu'il en soit, il s'avère que des « compromis » sont nécessaires parmi les différents indicateurs. D'un côté, l'indicateur devrait être le plus proche des dommages/impacts réels du changement climatique, et devrait donc être choisi bas dans la chaîne de cause à effet. D'un autre côté, il devrait pouvoir être calculé avec certitude et donc choisi plutôt en amont de la chaîne de cause à effet, puisque chaque étape supplémentaire des calculs peut introduire davantage d'incertitude

Selon Höhne et Blok³¹, l'indicateur devrait aussi être « **forward looking** », ce qui signifie qu'il prend en compte les effets des gaz qui ont lieu bien *après* le moment de l'émission. Les experts sont arrivés à la conclusion que seuls les deux premiers indicateurs de la liste, à savoir les *émissions cumulées* et les *concentrations* sont « forward looking ». La Proposition Brésilienne originale, privilégiant l'*augmentation de la température* comme indicateur, prend seulement en compte des effets qui ont déjà eu lieu. Etant donné les délais entre les émissions et l'*augmentation de la température*, la Proposition Brésilienne accorde un poids significativement plus important aux émissions passées qu'aux émissions récentes. D'autre part, les indicateurs qui ne sont pas « forward looking » accordent un poids important aux gaz à courte durée de vie, tels le méthane.

³¹ HÖHNE et BLOK, op.cit.

L'on peut noter qu'un autre choix méthodologique influence fortement les résultats de l'indicateur choisi : la date à laquelle se fait l'évaluation³² (voir tableau page 20). Des indicateurs qui ne sont pas « forward looking » peuvent être rendus « forward looking » en choisissant une date d'évaluation plus éloignée que la date de fin d'attribution des émissions. Cela permet de prendre en compte des effets qui apparaissent avec retard par rapport aux émissions. Dès lors, les experts recommandent d'utiliser une date d'évaluation éloignée lorsque l'indicateur n'est pas « forward looking ».

Autres indicateurs

D'autres indicateurs peuvent être relevés dans la littérature :

- **Emissions actuelles** (ou émissions d'une seule année de référence) : les défenseurs de la Proposition Brésilienne originale critiquent tout spécialement les calculs de responsabilités basés sur cet indicateur. En effet, une telle approche n'est pas un indicateur de la responsabilité historique, et ne prend pas en compte les schémas d'émissions historiques des différents pays, liés à leur processus d'industrialisation. La part de responsabilité des pays hors Annexe I est ainsi surestimée, étant donné que cet indicateur considère implicitement que l'année où les émissions des pays en développement rejoindront celles des pays industrialisés est l'année où les responsabilités de ces deux groupes deviennent égales. Or, les changements climatiques résultent de l'élévation des concentrations de gaz à effet de serre au cours du temps, et non des émissions d'une année en particulier. De plus, les pays hors Annexe I sont susceptibles d'être les plus vulnérables aux effets négatifs des changements climatiques. Le fait de définir les responsabilités relatives en termes de la *variation de température globale* qui résulte des émissions élimine cette difficulté.
- **Emissions actuelles pondérées par le Potentiel de Réchauffement Global (PRG)**³³ : il s'agit d'appliquer le concept de PRG (décrit précédemment) aux émissions actuelles. Cet indicateur n'est pas non plus un indicateur de responsabilité historique au sens strict.
- **Emissions cumulées pondérées par le Potentiel de Réchauffement Global**³⁴ : additionner les émissions historiques cumulées est « forward looking », puisque le calcul du PRG implique l'intégration du forçage radiatif sur une période de temps située ultérieurement aux émissions. Le choix de l'horizon temporel modifie le poids relatif des gaz à courte durée de vie par rapport aux gaz à longue durée de vie. Quel que soit l'horizon temporel, le déclin rapide du méthane fait qu'un poids plus faible lui est accordé avec cet indicateur qu'avec l'indicateur *forçage radiatif*. Cependant, cet indicateur n'est pas « backward discounting », ce qui signifie que le même poids est accordé à toutes les émissions, indépendamment du moment auquel elles ont lieu.
- **Concentrations passées intégrées**³⁵ : intégrer l'augmentation de concentrations due aux émissions entre une date de départ et une date de fin.
- **Concentrations pondérées**³⁶ ou **Forçage radiatif futur intégré**³⁷ : comme autre manière de prendre en compte les effets futurs, il est possible d'intégrer le forçage

³² Ce point sera discuté en page 37.

³³ HÖHNE et BLOK, op.cit.

³⁴ DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit. et HÖHNE. et BLOK, op.cit.

³⁵ UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretaria*”, 16 octobre 2002.

radiatif qui est dû à l'augmentation de la concentration sur une période de temps allant d'aujourd'hui à un point dans le futur. La responsabilité historique serait calculée en utilisant la concentration augmentée actuelle, en supposant qu'elle déclinera dans l'atmosphère présente selon son temps d'ajustement, et en intégrant le forçage radiatif qui en résulte sur une période de temps allant d'aujourd'hui à un point dans le futur. Donc, cet indicateur applique le concept de PRG aux concentrations et non aux émissions, et peut être pour cette raison appelé *concentrations pondérées*. Cet indicateur est aussi « backward discounting » que l'indicateur *forçage radiatif*, mais cet indicateur est également « forward looking », puisque qu'il prend explicitement en compte les effets non réalisés qui auront lieu dans le futur après que les gaz aient été émis.

- **Forçage radiatif des émissions actuelles**³⁸ : cet indicateur n'est pas à proprement parler un indicateur de responsabilité historique, et n'est pas non plus « forward looking ». Il n'est donc pas très intéressant de le considérer.
- **Forçage radiatif passé intégré**³⁹ : intégration du forçage radiatif dû aux augmentations de concentrations entre une date de départ et une date de fin. Cet indicateur est très similaire aux « concentrations passées intégrées ». Il peut être utilisé pour combiner les effets de différents gaz.
- **Taux de variation de la température**⁴⁰ : il est calculé comme la dérivée de l'augmentation de la température. Cet indicateur est plus complexe, et moins compréhensible pour les décideurs. C'est la raison pour laquelle il est peu détaillé dans la littérature consultée. L'attribution des responsabilités selon le *taux de variation de la température* donnera des résultats très différents de ceux obtenus avec l'indicateur *d'augmentation de la température moyenne*. Les régions dont les émissions sont en croissance rapide contribuent le plus au taux de variation de la température, tandis que les pays dont les émissions historiques sont considérables peuvent n'avoir qu'une faible contribution au taux de variation de la température.
- **Température intégrée**⁴¹ : une manière de contourner le fait que l'*augmentation de la température* n'est pas « forward looking » est d'intégrer l'augmentation de la température sur une période de temps située dans le futur, en émettant l'hypothèse que les émissions cessent aujourd'hui. Un tel indicateur est basé sur le concept que le niveau et la durée de l'augmentation de température sont pertinents pour les dommages liés au changement climatique. Cet indicateur est à la fois « backward discounting » (mais dans une moindre mesure que les *concentrations pondérées* et le *forçage radiatif*) et « forward looking ».

³⁶ DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit. et HÖHNE et BLOK, op.cit.

³⁷ UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.

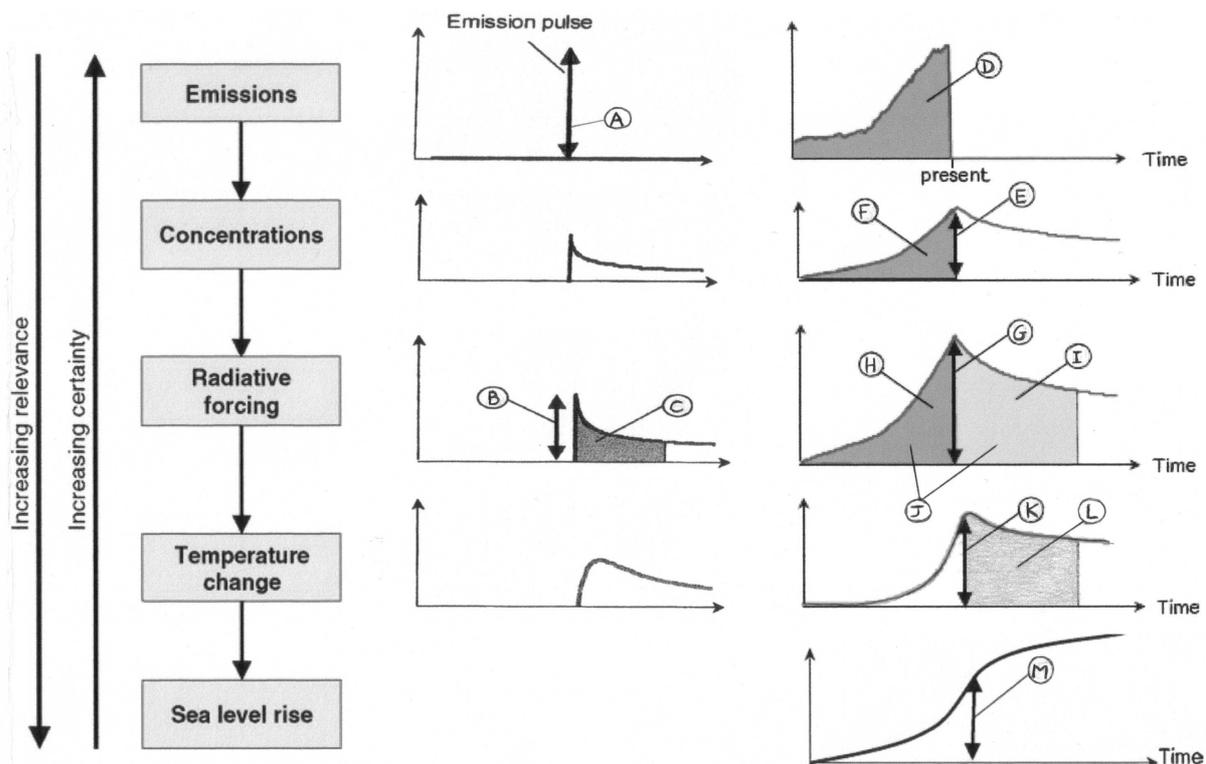
³⁸ HÖHNE et BLOK, op.cit.

³⁹ UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.

⁴⁰ UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.

⁴¹ DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit. et HÖHNE et BLOK, op.cit.

Ci-dessous sont représentés tous les indicateurs évoqués (à l'exception du taux de variation de la température) :



A = Emissions actuelles
 B = Forçage radiatif des émissions actuelles
 C = Emissions actuelles pondérées par le PRG
 D = Emissions cumulées
 E = Concentrations
 F = Concentrations passées intégrées
 G = Forçage radiatif

H = Forçage radiatif passé intégré
 I = Concentrations pondérées ou Forçage radiatif futur intégré
 J ~ Emissions cumulées pondérées par le PRG
 K = Augmentation de la température
 L = Augmentation de la température intégrée
 M = Elévation du niveau de la mer

Source : Adapté à partir de trois sources : (1) HÖHNE N. et BLOK K., "Calculating historical contributions to climate change – discussing the 'Brazilian proposal'", *Climatic Change*, vol.71, n°1-2, juillet 2005, p.144. (2) UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretaria*, 16 october 2002, p.9. (3) DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8 (2005), pp.614-636 et HÖHNE N. et BLOK K.,

Ni la Convention Cadre sur les Changements Climatiques, ni le Protocole de Kyoto ne précisent exactement à quel indicateur il faut accorder le plus d'importance. Ce choix impliquera inévitablement de faire un jugement de valeur, qui est susceptible de rendre difficile l'atteinte d'un compromis.

Deux facteurs principaux influencent les résultats d'attribution des responsabilités selon les différents indicateurs :

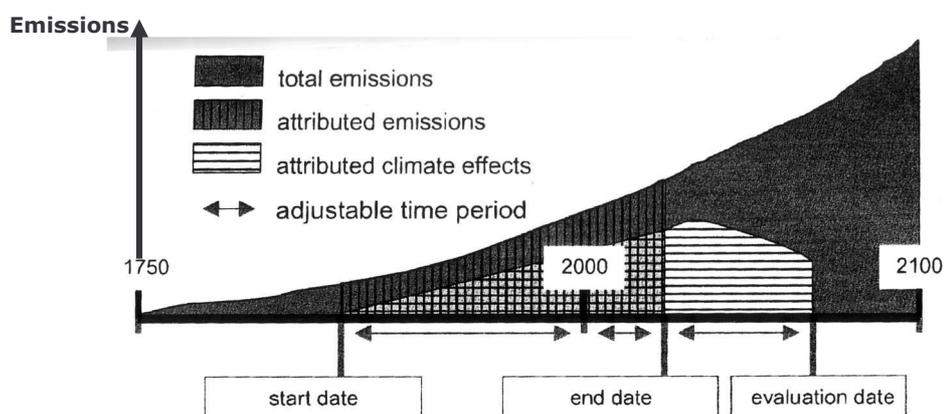
- Le fait que les gaz soient émis « tôt » ou « tard » : les indicateurs « backward discounting » donnent peu de poids aux émissions précoces.
- La part d'émissions de gaz à courte durée de vie par rapport aux gaz à longue durée de vie : les indicateurs qui ne sont pas « forward looking » accordent beaucoup de poids aux gaz à courte durée de vie.

Pour conclure ce point, notons encore que le choix de l'indicateur a également une influence sur la date à laquelle la responsabilité des pays en développement rejoindra celle des pays industrialisés.

2.1.3.2. CADRE TEMPOREL (TIMEFRAMES)⁴²

Bien que la proposition brésilienne originale envisageait d'appliquer le calcul de la responsabilité historique à des périodes de temps bien déterminées, il est important de comprendre que cette clé de répartition pourrait s'appliquer à n'importe quelle période de temps.

Trois choix doivent dès lors être effectués. Tout d'abord, deux choix déterminent l'intervalle de temps, la période sur laquelle les émissions historiques sont prises en compte et seront attribuées aux régions (= période d'attribution) : (1) choix de la date de début d'attribution des émissions et (2) de fin d'attribution. Les émissions qui ont eu lieu avant ou après la période d'attribution sont incluses dans le modèle (pour qu'il soit valide) mais ne sont pas attribuées à un pays émetteur en particulier. Enfin, il reste le (3) choix de la date d'évaluation à laquelle le calcul d'attribution est réalisé.



Source: DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, "Differentiating future commitments on the basis of countries' relative historical responsibility for climate change: uncertainties in the 'Brazilian Proposal' in the context of a policy implementation", *Climatic Change*, vol.71, n°3, août 2005, pp.277-301.

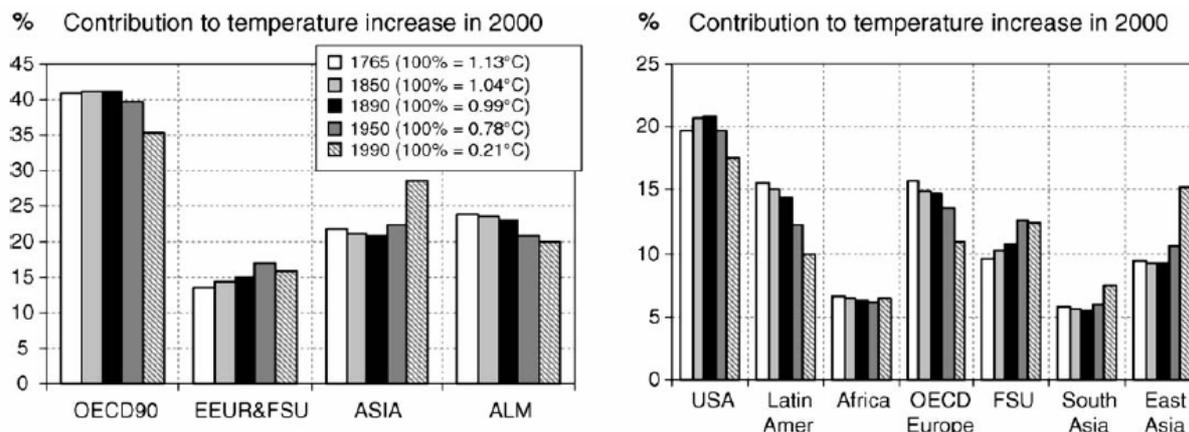
Ces choix ne sont pas neutres : ils donneront lieu, pour les groupes de pays, à des parts de responsabilité variable dans les effets du changement climatique.

Choix de la date de début d'attribution

L'effet de 5 dates de début d'attribution (1765, 1850, 1890, 1950 et 1990) sur les contributions des groupes de pays émetteurs au changement climatique est envisagé ci-dessous pour les 4 blocs de pays et sept régions choisies (les autres paramètres conservent leur valeur « par défaut », comme présenté dans le tableau page 20).

⁴² Sources principales pour le point 2.1.3.2:

- DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit.
- DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, op.cit.
- UNFCCC – SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) – fourteenth session, Bonn, 16-27 July 2001, item 4 of the provisional agenda, *Scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil. Progress report on the review of the scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil* – Note by the secretariat, 10 juillet 2001.



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.624.

Nous voyons sur les graphes que cette décision a un impact assez fort sur les contributions des groupes de pays. Si la période d'attribution commence plus tard que 1890 (date par défaut), les contributions relatives des pays de l'OCDE à l'augmentation de la température sont plus faibles, étant donné que ces pays sont des « émetteurs précoces ». En ce qui concerne les pays d'Europe de l'Est et d'ex-URSS, ceci ne se vérifie pas : leur contribution relative pour une date de début fixée en 1950 augmente, étant donné que leur taux de croissance d'émissions est faible comparé à celui des pays de l'OCDE pour la période 1900-1950.

Un autre élément à prendre en compte lors du choix de la date de début d'évaluation est le fait que les données d'émissions les plus anciennes comportent plus d'incertitude que les données récentes. En conséquence, plus la date de début est située tôt dans le passé, plus le calcul d'attribution comportera d'incertitude. L'indicateur utilisé influence aussi ce degré d'incertitude.

Le choix de la date de début d'attribution soulève un autre débat lié à l'acceptabilité de la responsabilité pour les émissions passées de gaz à effet de serre. Certains pays à l'Annexe I soutiennent qu'on ne peut pas leur reprocher l'impact négatif sur le climat de leurs émissions qui ont eu lieu à une époque à laquelle ils ne connaissaient pas les conséquences de la combustion des combustibles fossiles. A partir de quand peut-on alors considérer que les pays étaient responsables de leurs actes ?

A ce sujet, A. Gosseries⁴³ considère qu'il ne suffit pas d'invoquer le fait que les Etats ignoraient l'existence de telles conséquences négatives pour qu'ils soient exemptés de compensation. Il importe en effet de déterminer si oui ou non ils auraient dû savoir. Et l'on peut attendre des Etats qu'ils évaluent l'impact de leurs décisions dans une mesure plus importante que s'ils étaient de simples individus. A quelle date les Etats ont-ils su ou auraient-ils du savoir ? Dès 1896 est paru un article intitulé "De l'influence de l'acide carbonique dans l'air sur la température au sol" (Arrhenius). Vers 1967 apparaissent les premiers exercices de modélisation sérieux (Manabe et Wetherald). La première année à prendre en compte pourrait également être 1990, quand le GIEC a publié son Premier Rapport d'Evaluation avertissant que les émissions de GES pourraient avoir contribué au réchauffement global, ou encore 1995, année de publication du second rapport du GIEC qui spécifie que les émissions anthropiques de CO₂ ont effectivement un effet sur le climat mondial, bien qu'il ne lève pas

⁴³ GOSSERIES A., *Emissions historiques et free-riding*, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, 2003.

toutes les incertitudes sur l'ampleur de cet effet. Il semble difficile de choisir objectivement parmi toutes ces dates, mais la date initialement suggérée par la proposition brésilienne (1840) semble trop précoce pour que les Etats aient réellement eu connaissance des effets de leurs émissions (selon Gosseries). D'un autre côté, choisir 1995 comme date de début pour le calcul d'attribution de la responsabilité historique semble peu pertinent, car cela reviendrait à vider la proposition de toute sa substance.

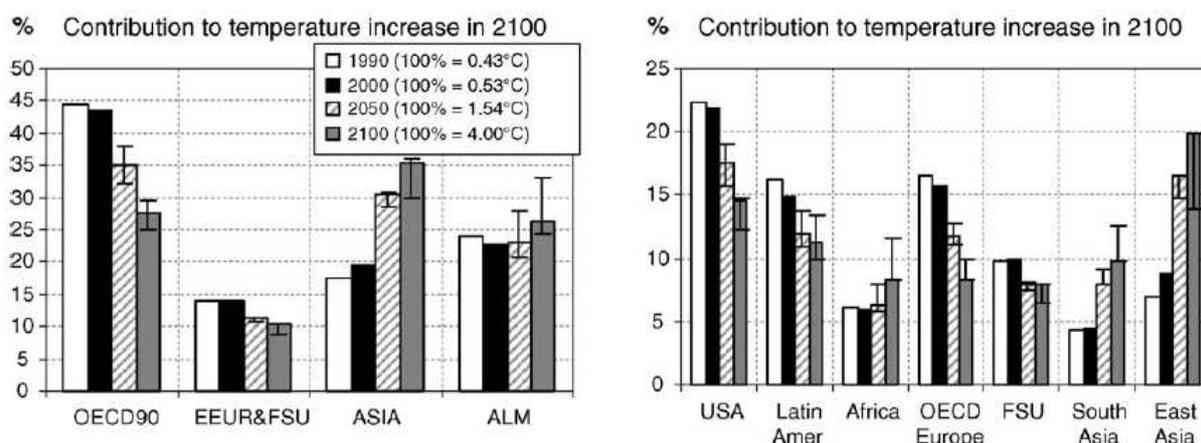
Gosseries défend également que cette objection d'ignorance n'est pas décisive. En recourant à une notion de « free-riding transgénérationnel », il défend l'idée qu'il est malgré tout possible de justifier l'existence, dans le chef de la génération actuelle des pays industrialisés, d'une obligation morale de dédommager les générations actuelles des pays non industrialisés, même si les générations précédentes ne sont pas moralement responsables des dommages qu'elles ont causé.

D'autre part, plusieurs pays (tels que les Etats-Unis et le Brésil) ont des lois et des règlements comportant le principe légal de « responsabilité objective » qui ont pour conséquence qu'un pollueur ne peut pas échapper à une pénalité en prétendant qu'il n'était pas au courant des dommages environnementaux causés⁴⁴.

Dès lors, il semble que l'objection d'ignorance des conséquences négatives au moment des émissions puisse être contestée.

Choix de la date de fin d'attribution

Ci-dessous est illustrée la sensibilité des responsabilités relatives à la date de fin d'attribution, en faisant varier celle-ci de 1990 à 2100. Il faut noter que ces calculs s'écartent des valeurs par défaut en ce qui concerne la date de fin d'évaluation : au lieu de 2000 (date d'évaluation par défaut), la date retenue ici est 2100 pour s'assurer que cette date soit toujours située après la date de fin d'attribution.



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.624.

La date de fin de période d'attribution choisie par défaut est 2000, et nous voyons que sa modification a un impact significatif sur la contribution des pays émetteurs à l'augmentation de la température. Lorsque l'on choisit une date plus tardive, les contributions relatives de l'Annexe I diminuent et celles des pays non Annexe I augmentent, surtout pour les pays qui ont des émissions en croissance rapide après 2000 car plus de poids est ainsi donné à ces futures émissions.

⁴⁴ LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit.

Il est à noter que l'utilisation d'une année de fin d'attribution située plus tard que le présent attribue l'effet des émissions à partir d'une trajectoire d'émissions futures, et pas seulement des émissions historiques. Les différents scénarios d'émissions du GIEC peuvent être utilisés à cet effet. Dans le graphe ci-dessus, le scénario A2 a été choisi, et les barres d'incertitude représentent les variations dans les résultats obtenus selon ces différents scénarios (A1, B1, A2 et B2). Il semble que le choix du scénario ne modifie pas profondément les observations faites ; néanmoins il a une forte influence sur la contribution relative d'un groupe de pays au changement climatique en 2100.

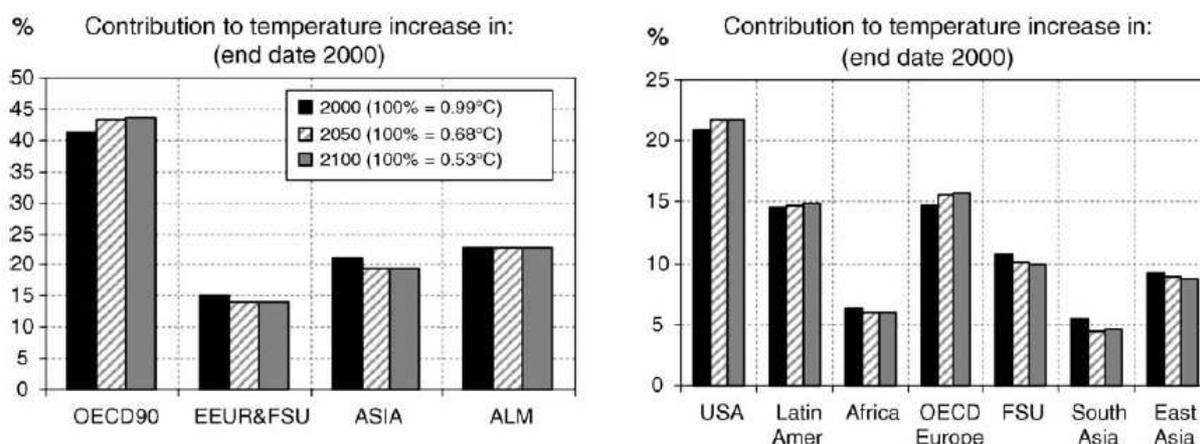
Date de l'évaluation

La date à laquelle l'indicateur est évalué (date d'évaluation) coïncide généralement avec la date de fin d'attribution, mais peut également être située plus tard que celle-ci. Lorsque l'indicateur est évalué à un point futur dans le temps, après que les émissions que l'on cherche à attribuer aient cessé, cela permet de prendre en compte les effets à long terme des émissions. Cela n'est pertinent que lorsque l'indicateur choisi est lié à des effets non réalisés à la date de fin d'attribution (l'indicateur n'est pas « **forward looking** »), c'est-à-dire si cet indicateur se trouve en aval des concentrations dans la chaîne de cause à effet (par exemple : forçage radiatif, augmentation de la température et élévation du niveau de la mer).

En situant la date d'évaluation plus tard que la date de fin d'attribution, on permet à l'indicateur de capturer les effets à retardement du système, inévitables. Par exemple, si l'indicateur est l'élévation du niveau de la mer, sa valeur continuera à augmenter bien après que les émissions aient cessé, en raison de l'inertie du système.

Evaluer l'indicateur à une date ultérieure à la fin de la période d'attribution donne également moins de poids aux effets des émissions historiques les plus précoces, en fonction de leur déclin dans l'atmosphère. L'indicateur sera ainsi « **backward discounting** ». Moins de poids est accordé aux gaz à courte durée de vie, puisque ceux-ci ont décliné ou sont inactifs au moment de l'évaluation de l'indicateur, tandis que les gaz à longue durée de vie sont encore présents ou actifs dans l'atmosphère.

La contribution relative de différentes sources de gaz à effet de serre au changement climatique peut être modifiée avec la date d'évaluation, comme le montre le graphe ci-dessous. La période d'attribution des émissions n'a pas été modifiée, et correspond toujours aux dates par défaut (1890-2000).



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.624.

Nous voyons que lorsque la date d'évaluation est repoussée dans le futur, la contribution relative pour le groupe OCDE augmente, tandis que les contributions des autres régions diminuent. Deux raisons permettent d'expliquer ces observations :

- (1) L'OCDE est responsable d'une large part des émissions historiques de CO₂, gaz ayant un long temps de résidence dans l'atmosphère. Les émissions historiques contribuent à une grande partie de la concentration en CO₂, en raison des réponses lentes de certaines composantes du cycle du carbone. Dès lors, la part de la contribution totale qui est causée par les émissions historiques restant dans l'atmosphère se réduira assez lentement.
- (2) L'OCDE a une faible proportion d'émissions de CH₄ en comparaison avec les autres régions. Or, le méthane exerce un forçage radiatif plus grand que le CO₂, mais a un temps de résidence nettement plus court et son effet se dissipera rapidement

Dans la Proposition Brésilienne originale, plusieurs périodes d'attributions successives étaient prévues, et la date d'évaluation correspondait à la date de fin d'attribution. Les réductions à effectuer par un pays étaient fonction, pour chaque période d'engagement, de la responsabilité historique calculée au début de cette période.

Pour la suite de ce mémoire, nous avons pris par défaut 1890 et 2000 comme dates de début et de fin d'attribution, et 2000 comme date d'évaluation (comme spécifié par défaut dans les « Termes de Référence de l'ACCC »). Avant la date de début d'attribution, et après la date de fin d'attribution, on suppose dans les calculs d'attribution que les émissions sont nulles.

2.1.3.3. CHOIX DES GAZ À EFFET DE SERRE ET DES SOURCES PRISES EN CONSIDÉRATION⁴⁵

En raison de données disponibles limitées, la Proposition Brésilienne originale prenait uniquement en compte les émissions de CO₂ provenant de combustibles fossiles (secteur de l'énergie) et de la production de ciment. Cependant, la Convention Cadre des Nations Unies précise (article 3.3) que pour faire face au problème des changements climatiques, les politiques et mesures doivent s'étendre à « toutes les sources et à tous les puits et réservoirs de gaz à effet de serre qu'il conviendra », soit non seulement le CO₂ d'origine fossile, mais également d'autres gaz à effet de serre et d'autres sources, tels les changements dans l'utilisation des sols. De plus, lors de la rencontre d'experts en 2001 il a été souligné qu'il serait judicieux de considérer d'autres gaz que le CO₂, y compris les gaz inclus dans le Protocole de Kyoto et éventuellement d'autres. Dans ce but, den Elzen et al⁴⁶ ont testé la sensibilité de la proposition brésilienne à l'incorporation de plusieurs gaz à effet de serre et plusieurs sources anthropiques. En effet, le forçage radiatif est le résultat de plusieurs gaz qui sont émis et peuvent interagir.

⁴⁵ Le point 2.1.3.3. se base principalement sur les sources suivantes:

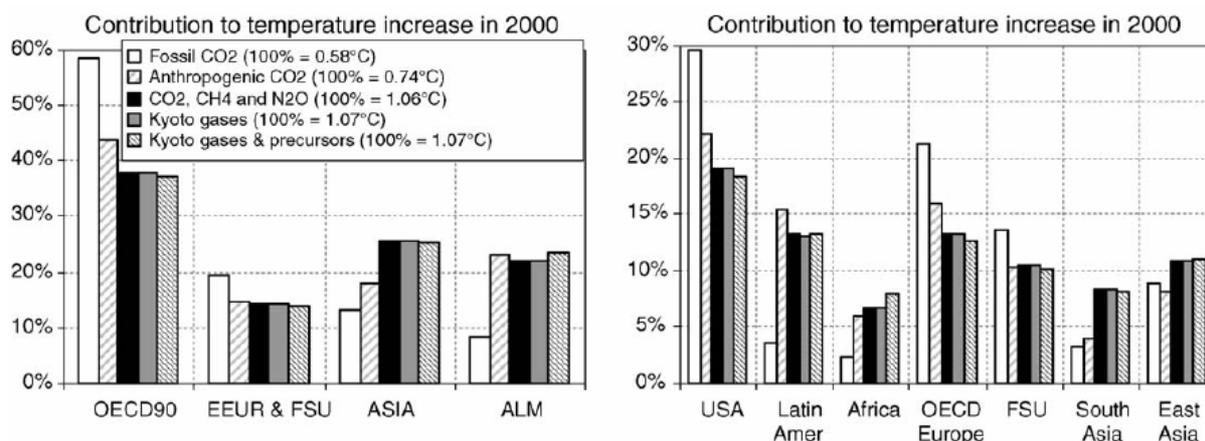
- DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit.
- LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit.
- UNFCCC – SBSTA – seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda, *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.
- DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M., *Assessment of major uncertainties in calculating regional contributions to climate change*, rapport RIVM 728001012, Pays-Bas, septembre 2000, 41pp.

⁴⁶ DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit.

Il s'agit de choisir quels gaz seront inclus dans les calculs et attribués aux différents pays, et également les sources prises en compte pour ces gaz. Il est possible d'inclure les émissions de certains gaz dans les calculs du modèle, sans pour autant attribuer leurs effets à une région particulière. Cela permet une meilleure concordance entre les simulations du modèle et les concentrations ou la température globale observée, tout en incluant des émissions dont il n'est pas désirable d'attribuer les effets (comme par exemple les aérosols sulfatés, ou les émissions précoces de gaz à effet de serre, chargées d'incertitude). Ces émissions font parties du « non attribué » (voir graphe plus haut).

Les graphes présentés ci-dessous se limitent à tester l'inclusion des gaz repris à l'annexe A du protocole de Kyoto (« Kyoto gases »), à savoir CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆, et aux précurseurs de l'ozone troposphérique. Les calculs sont effectués en envisageant trois cas d'émissions attribuées aux groupes de pays :

- 1) CO₂ provenant de sources fossiles
- 2) CO₂ de toutes origines anthropiques (provenant de sources fossiles et de changements dans l'utilisation du sol)
- 3) CO₂ total, CH₄ et N₂O (référence)
- 4) Les gaz du protocole de Kyoto (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆)
- 5) Les gaz du protocole de Kyoto + précurseurs de l'ozone troposphérique (NO_x, COV⁴⁷ et CO)



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.628.

Etant donné que les différents groupes de pays n'émettent pas tous ces gaz dans les mêmes proportions, le choix des gaz inclus dans les calculs d'attribution aura une influence sur les contributions relatives calculées.

Nous pouvons observer deux modifications qui ont une forte influence sur les résultats :

- 1) Le passage de l'attribution des émissions de CO₂ provenant de sources fossiles à l'attribution des émissions de CO₂ provenant de toutes sources anthropiques. Il s'agit de la modification qui donne lieu à l'effet le plus significatif. La contribution du groupe OCDE90 passe ainsi de 59 à 44%, tandis que les contributions des groupes Asie et Amérique latine & Moyen-Orient augmentent respectivement de 5 et 15%. Cela peut s'expliquer par le fait que les émissions actuelles liées à la déforestation

⁴⁷ COV = Composés Organiques Volatiles. Ce sont des composés contenant du carbone, qui s'évaporent facilement dans l'atmosphère à température ambiante (www.greenfacts.org)

proviennent principalement des régions en développement, tandis que dans les pays industrialisés les activités de déforestation sont responsables d'une part substantielle des émissions passées. L'inclusion de ces sources d'émissions semble nécessaire pour un calcul correct des contributions des pays au réchauffement climatique.

- 2) L'inclusion du CH₄ et du N₂O. La contribution du groupe OCDE est une nouvelle fois réduite (38%), tandis que la contribution de l'Asie augmente de 8%.

Ces modifications successives se traduisent également dans la date à laquelle la responsabilité des pays Annexe I et hors Annexe I au changement climatique convergent. Lors du passage du cas d'émissions 1) au 2), puis enfin au cas 3), le moment de convergence passe de 2065 à 2055 et, finalement, 2030. Dès lors, inclure les émissions de CO₂ liées aux changements dans l'utilisation des sols et les émissions non-CO₂ dans le calcul des contributions régionales au changement de température accroît fortement la part des pays hors Annexe I dans la responsabilité pour le changement climatique.

L'inclusion des autres gaz du protocole de Kyoto a des effets négligeables sur les contributions à l'augmentation de la température en 2000, étant donné que CO₂, CH₄ et N₂O sont responsables de la majeure partie du réchauffement climatique.

En ce qui concerne les précurseurs de l'ozone troposphérique, la prise en compte des émissions de ces gaz réduit légèrement la contribution de toutes les régions, sauf pour le groupe Afrique – Amérique latine – Moyen-Orient.

Modification de la date d'évaluation

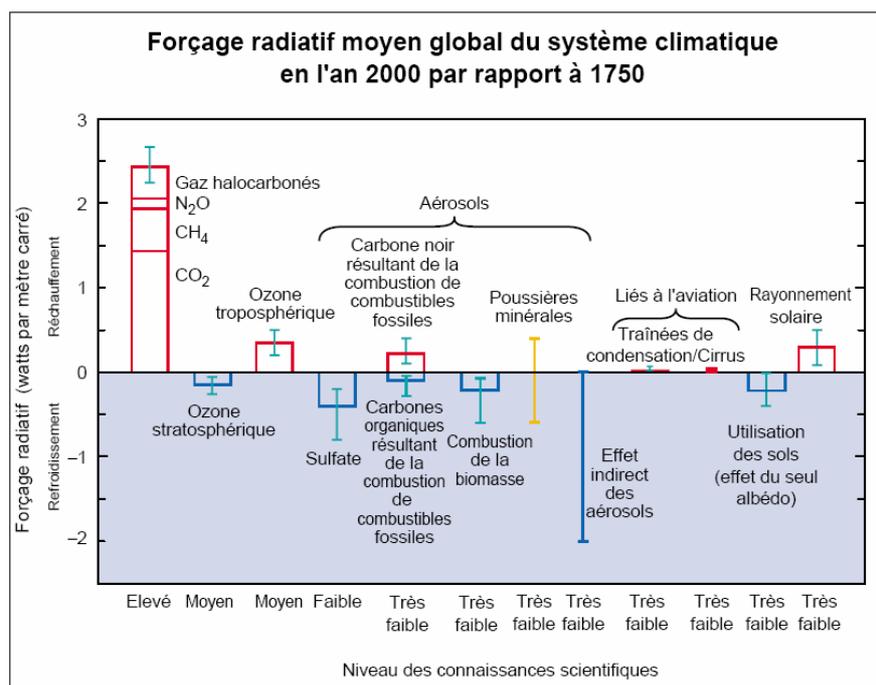
L'effet de l'inclusion des gaz à effet de serre et des différentes sources peut varier avec le choix de la date d'évaluation. Si l'on s'écarte de l'année 2000 fixée par défaut, et que l'on effectue les calculs en 2050, nous avons vu que l'on pouvait saisir des effets retardés dans le système climatique. Or, certains gaz ont des durées de vie très courtes (environ 12 à 15 ans pour le méthane, et quelques mois pour l'ozone troposphérique, au lieu de 50 à 200 ans pour le CO₂ et environ 120 ans pour le N₂O) et leur effet peut avoir disparu entre la date de fin d'attribution et la date d'évaluation. Les observations liées à l'inclusion des différents gaz à effet de serre et sources restent globalement identiques, mais l'amplitude des variations entre les différents cas est plus faible.

Si la date d'évaluation est reportée en l'an 2100, l'effet des changements est encore moins prononcé. La raison principale est que le CO₂ devient de plus en plus dominant en terme de forçage radiatif.

D'une manière générale, il apparaît donc que plus on inclut de gaz, moins élevée sera la contribution des pays industrialisés, mais que cet effet sera moins prononcé pour des échelles temporelles plus longues.

Autres agents causant un forçage radiatif

Les gaz du protocole de Kyoto et les précurseurs de l'ozone troposphérique (NO_x, COV et CO) ne sont pas les seuls facteurs qui ont une influence sur les changements climatiques. Outre la variation du rayonnement solaire et les événements volcaniques épisodiques qui ne sont pas causés par l'activité anthropique, la plupart de ces autres facteurs qui influencent le forçage radiatif sont d'origine humaine. Le graphe ci-dessous nous indique que certains facteurs provoquent des forçages positifs (tels que les gaz à effet de serre évoqués précédemment, qui causent un réchauffement), tandis que d'autres donnent lieu à des forçages négatifs (refroidissement).



Source : GIEC, *Bilan 2001 des Changements Climatiques - Troisième Rapport d'Evaluation*, Volume 1 : « Les éléments scientifiques », 2001, p.9.

Les barres rectangulaires représentent les estimations des contributions à ces forçages. La ligne verticale de chaque côté des barres rectangulaires donne la gamme des estimations, basée sur la dispersion des valeurs publiées des forçages et sur les connaissances physiques du phénomène. Certains des forçages présentent un degré de certitude bien plus élevé que d'autres. Une ligne verticale sans barre rectangulaire est indicatrice d'un forçage pour lequel l'on n'a pas la possibilité de fournir la meilleure estimation en raison de l'existence d'importantes incertitudes. Bien entendu, en raison des incertitudes on ne saurait s'attendre à ce que la simple somme des barres positives et négatives indique l'effet net sur le système climatique.

Idéalement, l'analyse d'attribution devrait inclure tous les agents anthropiques de forçage, et pas seulement ceux qui sont inclus dans les politiques climatiques. Dans ce but, il conviendrait d'inclure dans les modèles d'attribution les *forçages liés à l'aviation* (mais ceux-ci sont difficiles à attribuer aux pays puisque c'est une activité internationale), et également les *aérosols*⁴⁸ tels que le sulfate⁴⁹, les carbonés organiques résultants de la combustion de combustibles fossiles (forçage radiatif négatif), le carbone noir provenant de combustibles fossiles (forçage radiatif positif) et les aérosols en provenance de la combustion de biomasse. Il existe de nombreuses incertitudes liées aux émissions d'aérosols et à leur répartition spatiale, qui rend leur analyse complexe.

Au-delà des gaz à effet de serre habituellement envisagés dans les politiques climatiques, nous nous limitons ici à examiner l'effet de l'inclusion ou non du dioxyde de soufre (SO₂), bien que ce gaz ne fasse pas partie de la Proposition Brésilienne originale.

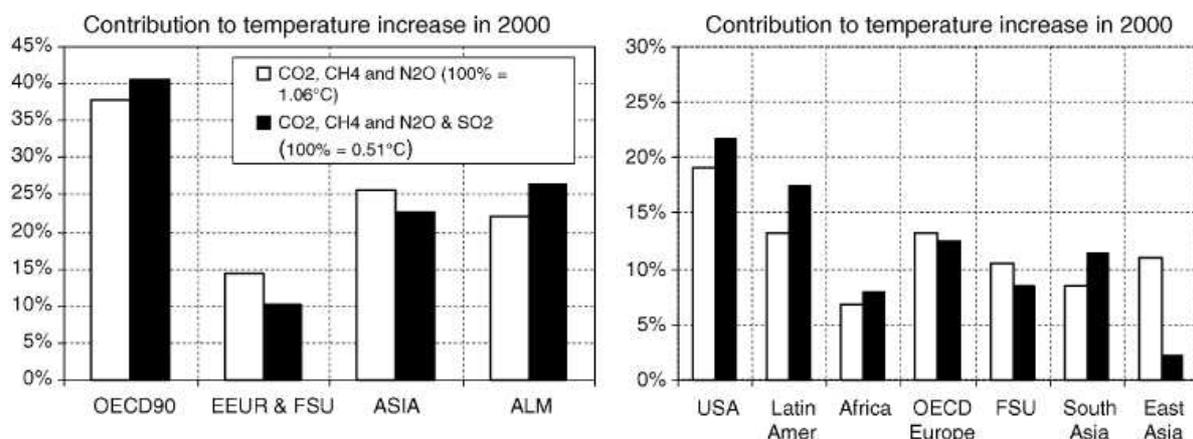
⁴⁸ Aérosols : Ensemble de particules solides et liquides en suspension dans l'air, généralement d'une taille comprise entre 0,01 et 10 µm et séjournant au moins plusieurs heures dans l'atmosphère. Les aérosols peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Ils peuvent influencer sur le climat de deux façons : directement, en dispersant et en absorbant le rayonnement, et indirectement, en agissant comme noyaux de condensation pour la formation de nuages ou la modification des propriétés optiques et de la durée de vie des nuages. (GIEC)

⁴⁹ Sulfate : composés qui contiennent du SO₄⁻. (Greenfacts)

Le dioxyde de soufre (SO₂) et les aérosols

Le SO₂ est un gaz à courte durée de vie. Par oxydation, le SO₂ forme du sulfate (SO₄), qui est un aérosol dont le forçage radiatif est négatif (voir schéma). Cela permet de dépasser la perspective de « réchauffement » adoptée jusqu'à présent, pour tendre vers une perspective de « forçage radiatif net » (incluant dès lors les forçages radiatifs positifs et négatifs). L'inclusion de ces effets permet une représentation plus réaliste de la température globale. Il est donc instructif de voir comment son inclusion modifie les résultats d'attribution. Toutefois, il semble évident que les effets refroidissants de ces gaz ne devraient pas être soustraits au réchauffement causé par les gaz à effet de serre, en raison d'autres effets (néfastes) que ces émissions causent sur la qualité de l'air et l'acidification.

Les histogrammes ci-dessous illustrent l'effet de l'inclusion du SO₂ dans les calculs d'attribution.



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.629.

Bien que toutes les régions voient leur contribution absolue au réchauffement climatique réduite quand le SO₂ est inclus, il ressort de l'histogramme que les contributions relatives de l'OCDE et du groupe Afrique/Amérique latine/Moyen-Orient augmentent, tandis que les contributions de l'Asie et l'Europe de l'Est et Ex-URSS sont réduites par rapport aux cas par défaut. Toutefois, cet effet disparaît si l'on choisit une date d'évaluation différente de la date de fin d'attribution, et les contributions relatives seront alors quasiment identiques à celles obtenues dans les calculs par défaut. En effet, le forçage lié au SO₂ est de nature instantanée (en raison de la courte durée de vie de ce gaz), et aura disparu s'il existe un intervalle de temps entre date de fin d'attribution et date d'évaluation.

Qualité des données

Le choix des gaz à inclure dans les calculs d'attribution peut également être influencé par la qualité des données disponibles pour les émissions de ceux-ci. Il semble que les émissions de CO₂ en provenance de sources fossiles soient les données les moins controversées sur lesquelles les pays pourraient se mettre d'accord, comme nous l'avons vu précédemment. En ce qui concerne le CO₂ provenant des changements dans l'utilisation des sols et les gaz à effet de serre non CO₂, peu de bases de données existent, même pour les années récentes, et cette source d'incertitude pourrait poser problème lors des discussions internationales liées à la Proposition Brésilienne.

2.1.3.4. MÉTHODES D'ATTRIBUTION⁵⁰

La proposition brésilienne originale utilisait un modèle climatique linéaire simple pour calculer les contributions à l'augmentation de la température. Cependant, il existe des non-linéarités importantes et des feedbacks dans plusieurs processus du système climatique, qui devraient être pris en compte pour donner une meilleure quantification de l'augmentation de la température. Les non-linéarités et les feedbacks entraînent deux conséquences principales :

- Les émissions en des points différents du temps vont avoir des effets différents. Par exemple, le forçage radiatif dû à 1 ppm⁵¹ de concentration en CO₂ diminue à mesure que la concentration atmosphérique augmente, à cause d'un effet de saturation. Ce forçage radiatif est aujourd'hui un quart plus faible qu'avant l'industrialisation. Les émissions précoces donnent dès lors lieu à un plus grand effet par ppm que les émissions plus tardives.
- L'effet des émissions de sources individuelles peut dépendre des émissions d'autres sources. En conséquence, la somme des effets d'émissions en provenance de régions individuelles (prises séparément) n'est pas égale à l'effet du total des émissions.

Lorsque la Proposition Brésilienne fut révisée en 1998, des corrections ont été apportées au sujet des non-linéarités, car la méthodologie originale était trop simplifiée et n'était pas valable sur de longues périodes de temps. Les experts ont conclu qu'il était plus réaliste d'inclure ces non-linéarités dans le modèle. L'exercice de modélisation coordonné (ACCC) de la rencontre d'experts à Bracknell a choisi d'inclure uniquement les non-linéarités qui se situent au niveau du forçage radiatif. La discussion qui suit se base sur ce cas par défaut, tout en donnant lieu à des conclusions qui sont valables pour des cas plus généraux de non-linéarités à d'autres étapes de la chaîne de cause à effet. Une fois le modèle ainsi modifié pour prendre en compte des non-linéarités, les différentes approches qui peuvent être utilisées pour répartir le réchauffement global en des contributions nationales ou régionales donnent des résultats différents.

Le choix de la méthode d'attribution ne peut pas se faire seulement sur des bases scientifiques, car les différentes méthodes d'attribution ne traitent pas les non-linéarités de la même manière et il n'existe pas une solution correcte unique. Ce choix est donc en partie politique. Les scientifiques se limitent à écarter les méthodes les moins adaptées, et analyser les implications des choix parmi les méthodes restantes.

Une comparaison a été faite pour sept approches proposées pour l'attribution des indicateurs de changement climatique aux émissions régionales⁵². Cependant, plusieurs de ces méthodes ne satisfont pas aux critères essentiels fixés par les experts, et peuvent être exclus sur des bases scientifiques. Nous nous limiterons ici à présenter les quatre méthodes les plus discutées lors des réunions d'experts : méthode marginale normalisée, méthode proportionnelle, méthode résiduelle, et méthode « time-sliced ».

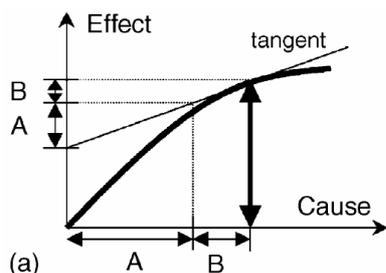
⁵⁰ Le point 2.3.4. se base principalement sur les sources suivantes:

- TRUDINGER C. et ENTING I., "Comparison of formalisms for attributing responsibility for climate change: non-linearities in the Brazilian proposal approach", *Climatic Change*, vol.68, n°1-2, janvier 2005, pp.67-99.
- DEN ELZEN, FUGLESVEDT, HÖHNE, TRUDINGER, LOWE, MATTHEWS, ROMSTADT, PIRES DE CAMPOS, et ANDRANOVA, op.cit.
- UNFCCC – SBSTA (seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda), *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 october 2002.

⁵¹ ppm = part par million (unité de mesure de concentration)

⁵² TRUDINGER et ENTING, op.cit.

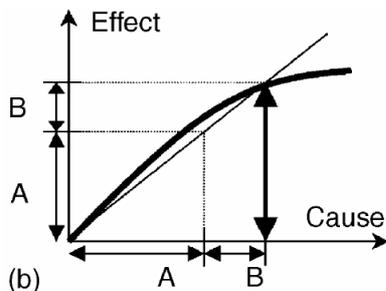
Méthode marginale normalisée:



La méthode marginale calcule la sensibilité du forçage radiatif « à la marge ». Une tangente est tracée sur la courbe de forçage radiatif au niveau des sources de concentration totales (sur le graphe, les sources totales sont les régions A et B), et est utilisée pour attribuer les effets aux différentes causes. Dès lors, l'effet de chaque unité de concentration sur le forçage radiatif est égal à l'effet causé par la dernière unité de concentration (et le rapport entre l'effet A et l'effet B est égal

au rapport entre la cause A et la cause B). Toutefois, avec cette méthode la somme des effets attribués aux différentes régions n'est pas égale à l'effet total, en raison du fait que la sensibilité à la marge n'est pas égale à la sensibilité moyenne. Dès lors, il est préférable d'utiliser la méthode marginale *normalisée* : les effets attribués aux différentes régions (effets A et B sur le schéma) sont mis à une échelle telle que leur somme corresponde à la valeur totale des effets.

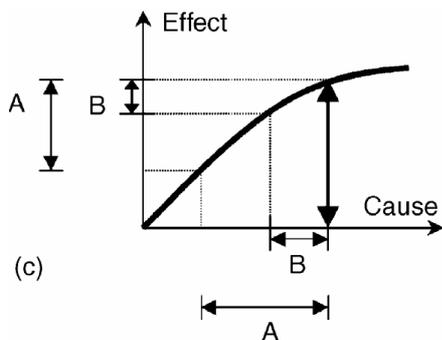
La méthode proportionnelle:



Selon la méthode proportionnelle, l'effet total est réparti entre les différentes sources en fonction de la proportion relative des concentrations qui y sont liées. Dès lors, la proportion entre la source A et la source B est la même que la proportion entre l'effet A et l'effet B. L'effet de chaque unité de concentration est par ailleurs égal à l'effet moyen de toutes les unités anthropiques de concentration, soit toutes les unités de concentration qui dépassent le niveau d'équilibre pré-industriel. Avec cette méthode, la somme des effets attribués correspond à l'effet total. Il est également intéressant d'observer que le résultat d'attribution obtenu est le même qu'avec la méthode marginale normalisée, bien que l'approche soit différente (il n'est ici pas nécessaire de calculer la tangente).

Bien que la méthode proportionnelle soit la plus aisément compréhensible pour les décideurs, elle présente le gros désavantage de ne pas être applicable dans tous les cas (elle est seulement applicable lorsque la seule non-linéarité incluse dans le modèle se situe au niveau du forçage radiatif). Etant donné que la méthode marginale normalisée donne les mêmes résultats et est d'application plus large que la méthode proportionnelle, nous n'envisagerons pas cette dernière dans la comparaison des méthodes.

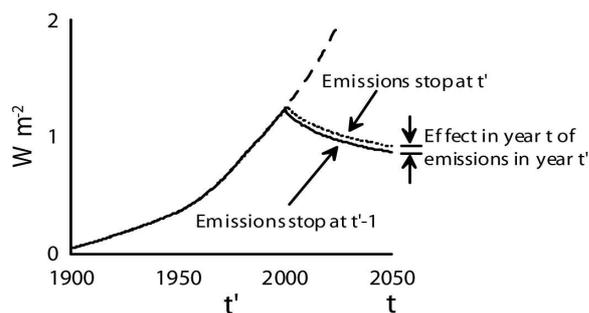
La méthode résiduelle :



Cette méthode procède en deux étapes : tout d'abord, l'effet total des sources (ici A et B) est calculé ; ensuite l'effet de toutes les sources sauf une (A par exemple). La différence entre ces deux effets est attribué à la source A. Le forçage radiatif causé par une région particulière est donc la différence entre le forçage radiatif total et le forçage radiatif qui existe quand l'effet de cette région est enlevé. Tout comme c'était le cas avec la méthode marginale, la somme des contributions régionales n'est pas égale à l'effet total, mais il est possible de remédier à

ce problème en recourant à une méthode résiduelle *normalisée*.

La méthode “time-sliced”:



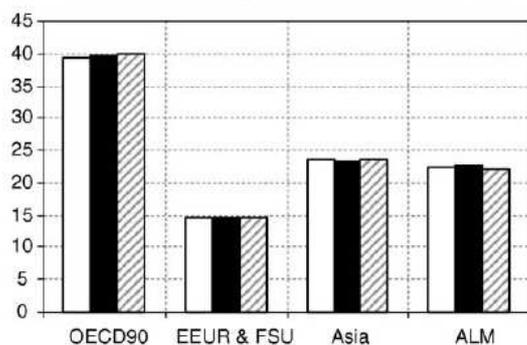
ensuite nulles. La courbe pointillée montre le forçage radiatif dû aux émissions qui suivent le scénario de référence jusqu'au temps t' , et qui sont ensuite égales à zéro.

L'effet des émissions pendant la période t' sur le forçage radiatif au temps t est la différence entre ces deux courbes.

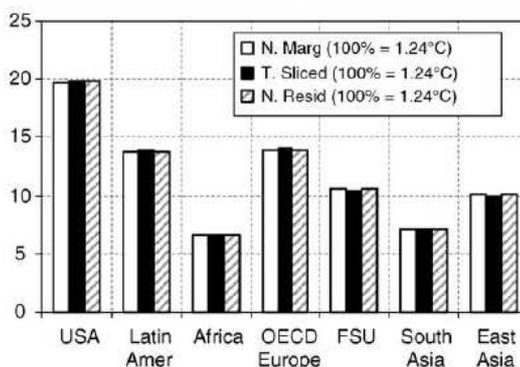
Ce procédé est répété pour chaque année d'émissions pour connaître la contribution de toutes les émissions en tous temps. Il est à noter qu'avec cette méthode, l'attribution du réchauffement futur dû aux émissions qui ont eu lieu jusqu'à ce jour ne dépend pas de la trajectoire des émissions futures. D'autre part, il n'est pas nécessaire de normaliser car la somme des contributions régionales est égale à l'effet total.

Le graphe présente les contributions par régions à l'augmentation de la température, pour deux dates d'évaluation différentes : 2000 et 2100 (la période d'attribution restant toujours 1890-2000). Il est important de noter que ces graphes prennent en compte uniquement les non-linéarités au niveau du forçage radiatif.

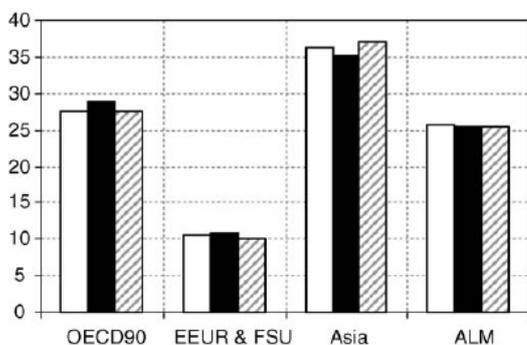
% Contribution to temperature increase in 2000



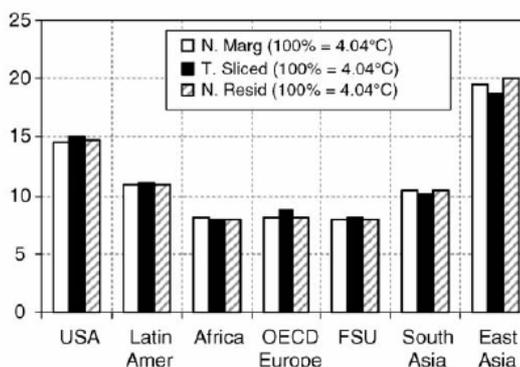
% Contribution to temperature increase in 2000



% Contribution to temperature increase in 2100



% Contribution to temperature increase in 2100



Source: DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., “Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices”, *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, p.627.

Les différentes méthodes d'attribution donnent des différences dans les résultats d'attribution assez faibles (quelques pourcents), si l'on compare aux effets des autres choix méthodologiques évoqués. Le choix de la méthode a une importance mineure sur les résultats d'attribution. Toutefois, rappelons que ces conclusions uniquement l'inclusion des non-linéarités au niveau du forçage radiatif.

Les différences entre méthodes d'attribution pourraient s'avérer plus prononcées si l'on considérait chaque pays séparément, au lieu d'effectuer les calculs pour de grands blocs. En effet, les résultats varient le plus pour les régions qui ont les trajectoires d'émissions dans le temps les plus différentes de la moyenne, en termes d'émissions précoces versus émissions tardives (régions telles que l'Inde ou l'Union Européenne) : les régions dont une forte proportion des émissions se situe dans les années récentes se voient attribuer une part de responsabilité plus faible avec la méthode time-sliced qu'avec les méthodes marginales et résiduelles. Lorsque l'on éclate les grands groupes de pays, les trajectoires individuelles peuvent s'écarter plus fortement les unes des autres, ce qui donnera lieu à des résultats plus divergents.

On peut également constater que les différences entre les méthodes sont plus grandes lorsque la date d'évaluation est plus tardive (2100 au lieu de 2000).

Puisque l'on a déjà éliminé la méthode proportionnelle, il reste trois méthodes à comparer.

La méthode **résiduelle normalisée** est facile à appliquer et à comprendre par les décideurs, mais présente l'inconvénient de ne pas être « additive » : la contribution de chaque région est dépendante de la manière dont le monde est divisé en blocs pour les calculs, et les résultats varient si un bloc est éclaté en plus petites régions. Par exemple, cela signifie que l'effet dû à un groupe de pays, tels que les pays de l'Union Européenne, seront différents selon que l'on les traite comme un groupe uni ou comme des entités distinctes. De plus, les contributions des autres pays varient également selon que l'on traite l'Union européenne en tant que bloc ou en tant qu'unités individuelles. Les résultats sont dépendants de la taille des régions, et les régions qui ont des émissions plus faibles se verront attribuer un forçage radiatif plus faible par unité de concentration que les régions qui ont des émissions plus élevées, à cause de la non-linéarité. Dès lors, les experts estiment que cette méthode peut être écartée selon des bases scientifiques.

La méthode **marginale normalisée** et la méthode **time-sliced** satisfont toutes deux à neuf critères proposés par Trudinger et Enting⁵³, tandis que les autres méthodes ne satisfont pas à un ou plusieurs de ceux-ci. Ces deux méthodes sont donc considérées par ces auteurs comme étant les plus adaptées pour l'attribution des effets lorsque les modèles incluent des non-linéarités. Cependant, ces deux méthodes sont plus difficiles à appliquer et à comprendre.

La différence entre ces deux méthodes peut être caractérisée par la manière dont elles traitent les émissions précoces par rapport aux émissions tardives. La méthode marginale normalisée traite chaque unité de concentration de gaz de la même manière, indépendamment du moment où elle a été émise. En revanche, la méthode time-sliced traite chaque unité de concentration différemment, en fonction du moment où elle a été émise (et en considérant que les émissions ultérieures sont nulles). Pour les non-linéarités dans le modèle de forçage radiatif, nous avons vu que les émissions récentes de CO₂ avaient un impact réduit sur la température, en raison des émissions précoces qui restent dans l'atmosphère et d'un effet de saturation. Cela signifie que les émissions précoces ont plus de poids par rapport aux émissions plus tardives avec la méthode time-sliced qu'avec la méthode marginale normalisée. Cet « impact réduit » devrait-il être considéré seulement pour les émissions

⁵³ TRUDINGER et ENTING, op.cit. Les neuf critères sont expliqués pages 72-73 de cet article.

actuelles, ou partagé entre toutes les émissions restant dans l'atmosphère ? A l'inverse, lors de non-linéarités prises en compte à d'autres étapes de la chaîne de cause à effet, l'effet peut être inverse.

Une autre différence entre ces deux méthodes est que, dans la méthode marginale normalisée, le réchauffement non réalisé qui est associé aux émissions passées dépend du choix du scénario pour les émissions futures, tandis que ce n'est pas le cas avec la méthode time-sliced.

En définitive, ces deux méthodes sont basées sur des approches différentes, qui traitent les non-linéarités de façon différente, et choisir entre les deux relève d'un choix politique plus que scientifique. Il est toutefois à noter que la méthode time-sliced exige des calculs très lourds, et peut s'avérer peu pratique à appliquer dans certains modèles complexes, étant donné que de nombreuses itérations sont nécessaires.

2.2. Les Régimes post-Kyoto alternatifs

Il existe une littérature très abondante à propos des approches possibles pour une future coopération internationale en matière d'atténuation des changements climatiques. Toutefois, les différents auteurs n'envisagent généralement qu'un nombre limité d'approches (incluant rarement tous les régimes de différenciation des engagements qui sont l'objet du présent travail), et n'effectuent pas toujours le classement de ces approches de la même manière. En outre, ils ne définissent pas toujours explicitement chaque approche, rendant leur comparaison difficile. Le classement présenté ci-dessous se base sur un document de synthèse⁵⁴ qui tente de fournir, dans la mesure du possible, un inventaire de ces approches. Les propositions faites par différents auteurs, et qui partagent les mêmes caractéristiques de base, y sont rassemblées sous un même titre.

2.2.1. Approches quantitatives : nature des objectifs

Ce point traite de la nature des objectifs post-2012 possibles. En effet, outre des *objectifs fixes et contraignants* (tels que ceux du Protocole de Kyoto), il est possible d'envisager d'autres types d'engagements quantifiés. Des exemples⁵⁵ peuvent être cités :

- *Objectifs dynamiques* : les objectifs sont indexés selon la croissance économique réelle, ce qui laisse plus de flexibilité aux pays.
- *Objectifs non-contraignants* (pour les pays en développement) : permettent aux pays concernés de vendre leurs autorisations d'émissions si celles-ci sont situées en dessous de leur objectif quantifié, mais n'exigent pas que ces pays achètent des permis si leurs émissions dépassent leur objectif.
- *Objectifs contraignants avec un plafond de prix* (« price cap ») : il existe un plafond dans le prix des émissions, visant à limiter l'incertitude quant aux coûts de réduction
- *Objectifs/ mécanismes sectoriels* : les objectifs sont fixés par secteur, et peuvent être contraignants ou non-contraignants, fixes ou indexés.

Certains de ces types d'objectifs peuvent éventuellement coexister au sein du système international.

2.2.2. Approches quantitatives : timing et schémas d'allocation

Les approches que nous allons présenter ici concernent le timing des engagements, ainsi que la différenciation des engagements (également appelée « burden-sharing » ou répartition des efforts). Chacune sera dans un premier temps introduite de façon assez générale. Ensuite, nous précisons à chaque fois la « définition » particulière⁵⁶ de cette approche telle qu'elle sera utilisée dans la suite de ce travail.

⁵⁴ PHILBERT C., *Approaches to future international co-operation*, OCDE et AIE, 2005.

⁵⁵ PHILBERT C., op.cit.

⁵⁶ Selon DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas.

Avant de pouvoir présenter ces « définitions » précises des régimes alternatifs, il convient de situer le contexte et les hypothèses qui ont guidé le choix des auteurs. Leur étude⁵⁷ vise à examiner les implications de certains régimes climatiques internationaux de différenciation des engagements post-Kyoto (après 2012), sous une contrainte d'émissions totales qui soit compatible avec l'objectif climatique de l'Union Européenne. Or, l'objectif long terme de l'Union Européenne dans sa politique climatique est d'empêcher une augmentation de la température moyenne globale de plus de 2°C au-dessus des niveaux pré-industriels.

L'Institut National pour la Santé publique et l'Environnement (RIVM) des Pays-Bas a tout d'abord développé un scénario d'émissions « baseline »⁵⁸ pour la période 2010-2100. Il s'agit d'une projection des émissions globales futures, supposant qu'il n'y a pas de politique climatique post-Kyoto, et basée sur plusieurs hypothèses concernant la croissance de la population, le développement technologique, l'affectation future des sols,...

Le RIVM a ensuite développé un profil d'émissions de gaz jusque 2100 (grâce au modèle IMAGE 2.2)⁵⁹ qui donne lieu à une stabilisation des concentrations atmosphériques d'équivalent CO_2 ⁶⁰ de 550 ppmv⁶¹ en 2100, ce qui correspond à une stabilisation des concentrations atmosphériques de CO_2 de 450 ppmv (ce profil est dénommé S550e dans le graphe ci-dessous).

⁵⁷ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

⁵⁸ Les scénarios « baseline » (aussi connus comme scénarios de 'référence' ou 'sans intervention') décrivent un état futur de la société et/ou de l'environnement dans lequel aucunes nouvelles politiques environnementales ne sont implantées à part celles déjà existantes aujourd'hui ; ou dans lequel ces politiques n'ont pas une influence significative sur les questions analysées (http://glossary.eea.eu.int/EEAGlossary/B/baseline_scenario)

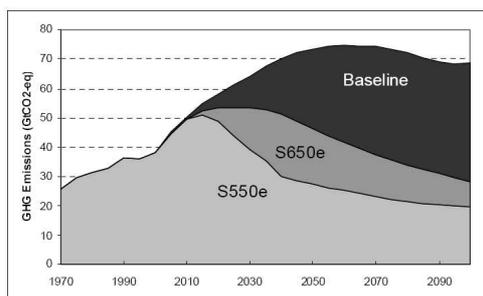
Ici, le scénario « baseline », appelé Common POLES-IMAGE baseline (CPI), décrit un monde dans lequel la globalisation et le développement technologique continuent à être un facteur important dans la croissance économique, bien que dans une moindre mesure que ce qui est supposé dans le scénario A1b du GIEC. Etant donné que les taux de croissance économique se situent entre ceux des scénarios A1b et B2 du GIEC dans presque toutes les régions, cette baseline CPI peut être placée dans une catégorie « intermédiaire ».

⁵⁹ Jusque 2010, ce profil suppose des émissions telles que projetées par le scénario « baseline » CPI. Pour la suite, il prend en compte les objectifs du Protocole de Kyoto de l'Annexe I (à l'exception des Etats-Unis) et suppose l'application des objectifs proposés par les Etats-Unis (Plan Bush : -18% d'intensité de gaz à effet de serre entre 2002 et 2012). En ce qui concerne le commerce des émissions, le profil suppose qu'environ 80% des surplus d'autorisations d'émissions (hot air) de l'ex-URSS et de l'Europe de l'Est sont épargnés sur base d'une optimisation de revenu dans la première période d'engagement. On suppose que les pays non Annexe I sont capables de suivre leurs émissions « baseline » pendant cette période.

⁶⁰ Equivalent CO_2 : concentration de CO_2 qui entraînerait un forçage radiatif de même importance que celui résultant d'un mélange donné de CO_2 et d'autres gaz à effet de serre. (GIEC) Ici, les six gaz à effet de serre du Protocole de Kyoto sont pris en considération.

⁶¹ ppmv = partie par million en volume. Le titre molaire, ou **rapport de mélange**, est le rapport, dans un volume donné, du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles de tous les constituants dans ce volume. Il est généralement indiqué pour l'air sec. Les valeurs types pour les gaz à effet de serre à longue durée de vie sont de l'ordre du $\mu\text{mol/mol}$ (parties par million : **ppm**), du nmol/mol (parties par milliard : **ppb**) et du fmol/mol (parties par billion : **ppt**). Le titre molaire se distingue du **rapport de mélange en volume**, qui s'exprime souvent en **ppmv**, etc., par les corrections faites pour prendre en compte la non-idéalité des gaz. Cette correction est significative pour ce qui concerne la précision des mesures relatives à de nombreux gaz à effet de serre (source : Schwartz et Wameck, 1995). (GIEC)

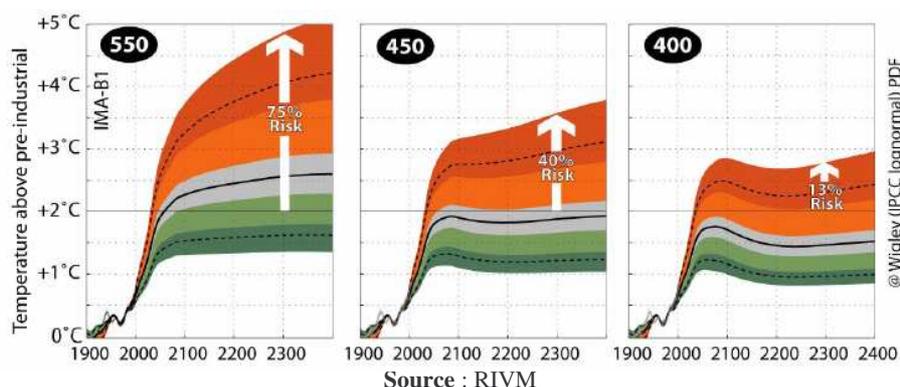
Profils d'émissions globales pour une stabilisation des concentrations de CO₂ à 450 ppmv (IMAGE S450c) et 550 ppmv (IMAGE S550c)



Source : DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.31.

La stabilisation des concentrations à ce niveau pourrait être cohérente avec l'objectif de 2°C, étant donné l'incertitude dans la sensibilité du système climatique⁶². Le schéma qui suit nous montre qu'une stabilisation de la concentration à un niveau supérieur présente un risque fort de dépasser cet objectif de l'Union Européenne.

Augmentation de la température moyenne globale par rapport aux niveaux pré-industriels pour des stabilisations de la concentration atmosphérique de CO₂ à 550, 450 et 400 ppmv



L'étude a examiné les cinq régimes climatiques suivants pour la différenciation des engagements futurs à l'échelle globale : la Proposition Brésilienne, l'approche Multi-stage, l'approche Per Capita Convergence, l'approche Preference Score, et l'approche Jacoby Rule. Lorsque c'était nécessaire, les auteurs ont « adapté » ces approches pour les rendre compatibles avec l'objectif de stabilisation à 450 ppmv de CO₂, ce qui rend la comparaison plus aisée. Des approches alternatives proposées par d'autres auteurs seront également présentées.

⁶² La sensibilité du climat à l'équilibre désigne les variations à l'équilibre de la température moyenne mondiale en surface à la suite d'un doublement de la concentration d'équivalent CO₂ dans l'atmosphère. De façon plus générale, elle désigne la variation à l'équilibre de la température de l'air en surface consécutive à la variation d'une unité de forçage radiatif (°C/W m⁻²). Dans la pratique, l'évaluation de la sensibilité du climat à l'équilibre nécessite de très longues simulations à l'aide de modèles couplés de la circulation générale (modèle climatique). Le GIEC estime que la sensibilité climatique se situe dans un intervalle compris entre 1,5 et 4,5 °C, avec une valeur médiane de 2,5°C. Une sensibilité climatique proche de la valeur médiane est beaucoup plus probable qu'une valeur proche des limites de l'intervalle d'incertitude. Actuellement, le paramètre « sensibilité climatique » revêt encore une grande incertitude.

2.2.2.1. La Proposition Brésilienne

Nous avons abordé la Proposition Brésilienne dans les chapitres 1 et 2. Dès lors, nous présentons ici uniquement la « définition » de cette proposition telle que choisie par Den Elzen et al.

Leur approche est en fait partiellement basée sur l'approche Multi-stage (présentée dans le point suivant), car elle prévoit deux « étapes » et deux « groupes de pays » pour la participation au régime climatique. Ils introduisent ainsi une modification importante par rapport à la Proposition Brésilienne telle que nous l'avons envisagée précédemment. En effet, ils l'appliquent à l'échelle globale, mais en instaurant un seuil de participation des régions non Annexe I lié au revenu. Ce seuil de participation est choisi comme un pourcentage du revenu per capita de l'annexe I de 1990, mesuré en termes de « Parité de Pouvoir d'Achat » (PPP : Purchasing Power Parity)⁶³. Pour le cas de référence, le seuil de participation a été fixé à 40% du revenu per capita de 1990 des régions de l'Annexe I (PPP\$ per capita).

Les pays situés en dessous du seuil de participation peuvent suivre leurs émissions « baseline ». Pour les régions qui ont passé le seuil, la charge de réduction restante⁶⁴ pour atteindre le profil d'émissions global est répartie entre toutes les régions participantes sur base des calculs de contribution à l'augmentation de la température. Les autorisations d'émissions sont attribuées en fonction des contributions calculées à un point situé 5 ans plus tôt dans le temps.

Cette « approche de la Proposition Brésilienne »⁶⁵ s'écarte fort de la Proposition Brésilienne originale, mais les auteurs justifient leur choix par le fait que la Proposition Brésilienne avait été conçue pour être appliquée uniquement aux pays de l'Annexe I, et que son application à l'échelle globale impose certaines adaptations. En effet, les auteurs considèrent que les objectifs de réduction pourraient s'avérer contraignants pour les pays en développement, et que l'utilisation d'un seuil de participation permet aux pays à faible revenu (avec des émissions per capita considérablement plus basses que les pays à haut revenu) de poursuivre pendant quelques années leurs émissions baseline sans entraver leur développement économique⁶⁶, avant de devoir s'engager dans des objectifs contraignants.

Quant aux pays de l'Annexe I, tous sont confrontés à des réductions d'émissions continues, et certains (partie Européenne de l'OCDE, Japon et ex-URSS) se voient attribuer des autorisations d'émissions négatives⁶⁷ à cause de leur forte contribution historique à

⁶³ En ce qui concerne le revenu, les niveaux de PIB de différents pays sont généralement comparés sur base d'une conversion à une monnaie commune, en utilisant les taux de change des marchés. Cependant, il est reconnu que cette manière de procéder sous-estime les niveaux de revenu réel des pays à faible revenu. Dès lors, une conversion alternative a été développée sur base des estimations de PIB en termes de PPP (Parité de Pouvoir d'Achat). (DEN ELZEN M.G.J., LUCAS P., et VAN VUUREN D., "Abatement costs of post-Kyoto climate regimes", *Energy Policy*, vol.33, n°16, 2005, pp. 2138-2151.)

⁶⁴ La différence entre les émissions restantes aux temps t et $t-1$, les émissions restantes étant les émissions globales du profil moins les émissions totales des régions non participantes.

⁶⁵ appelée ainsi par les auteurs pour la différencier de la Proposition Brésilienne originale

⁶⁶ Le seuil de participation de 40% implique que seulement les régions non-Annexe I à haut et moyen revenu (Amérique latine, Moyen-Orient&Turquie, Asie de l'Est et du Sud-Est) ont à participer au régime de réduction d'émissions avant 2025, tandis que les régions à faible revenu non-Annexe I peuvent poursuivre leurs émissions baseline. D'ici 2050, seulement l'Afrique de l'Est, de l'Ouest et du Sud sont exemptées de participation au régime de réduction, mais à ce moment l'Asie du Sud et l'Afrique du nord doivent aussi réduire leurs émissions.

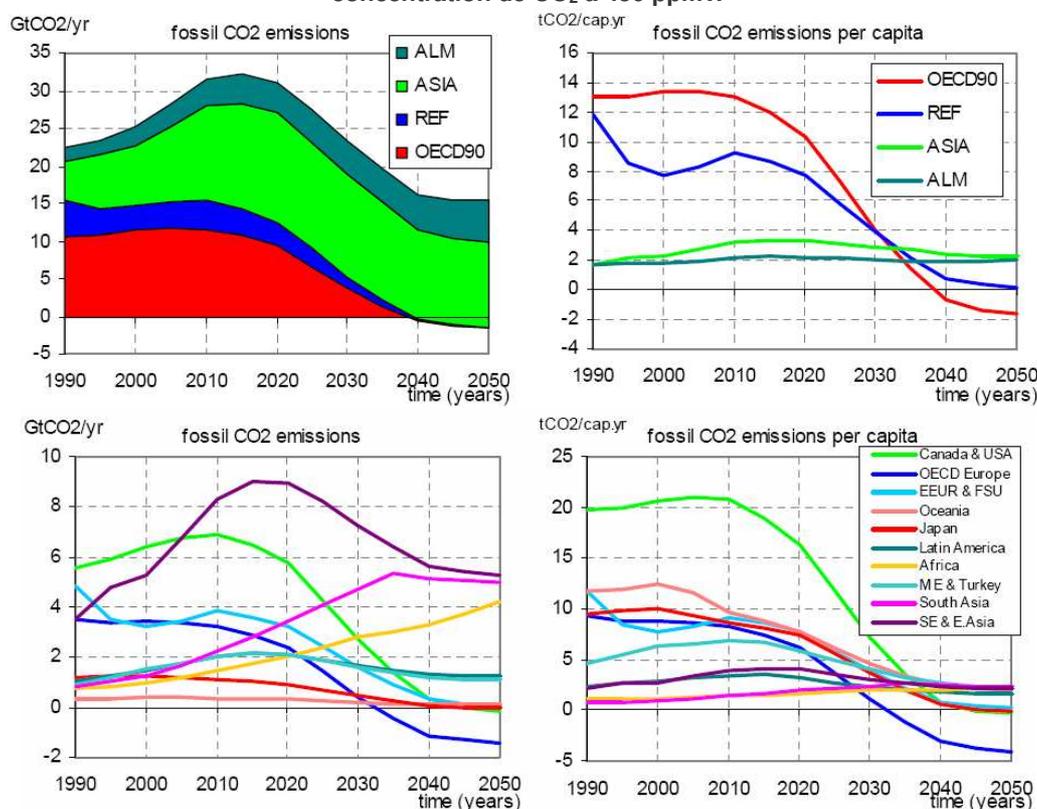
⁶⁷ Des autorisations d'émissions négatives indiquent que l'obligation de réduction d'émissions d'une région (résultant de sa part dans la clé de répartition des efforts et de la charge totale de réduction d'émissions globales) excède ses autorisations d'émissions restantes de la période d'engagement précédente. Cela se produit dans le cas de la Proposition Brésilienne sous une contrainte d'émissions globales stricte quand, à cause de leurs grandes contributions historiques au changement de température, la part de certaines régions de l'Annexe I – surtout

l'augmentation de la température. Il en est de même pour l'Amérique latine, mais ces autorisations d'émissions négatives sont ici une conséquence de leurs fortes émissions liées aux changements dans l'utilisation des sols dans les dernières décennies.

Outre cette adaptation majeure de la Proposition Brésilienne, les choix scientifiques et méthodologiques effectués pour le calcul des contributions à l'augmentation de la température restent les mêmes que dans le cas « par défaut » envisagé précédemment, spécifié dans les « Termes de Référence » de l'exercice de modélisation coordonné ACCC (voir point 2.1.1., et tableau page 20). Une exception cependant : le choix de la date de début d'évaluation qui est ici 1765 au lieu de 1890 dans le cas par défaut).

Les autorisations d'émissions de CO₂ fossile (totales et per capita) sont illustrées ci-dessous pour l'« approche de la Proposition Brésilienne » que nous venons de décrire.

Autorisations d'émissions de CO₂ fossile pour le cas de référence de la Proposition Brésilienne, pour les 4 régions déterminées par le GIEC (en haut) et dix régions (en bas) sous le profil de stabilisation de la concentration de CO₂ à 450 ppmv.



Source : DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.39.

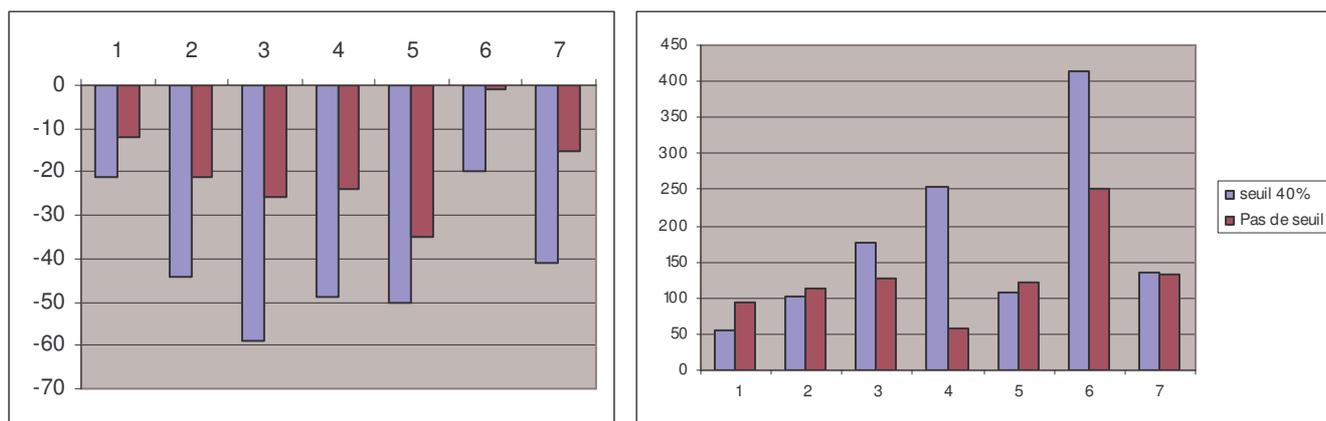
Les auteurs montrent en outre que les résultats sont fort sensibles au seuil de revenu choisi pour la participation des pays non-Annexe I : un seuil moins élevé avantagera les pays de l'Annexe I (car les pays non-Annexe I participeront plus tôt), tandis qu'un seuil plus élevé avantagera les pays non-Annexe I et défavorisera les pays de l'Annexe I (qui auront des autorisations d'émissions négatives plus élevées). Le choix du seuil de participation a donc

l'Europe – dans la charge d'émissions générale décroît moins vite dans le temps que la part des autorisations totales d'émissions.

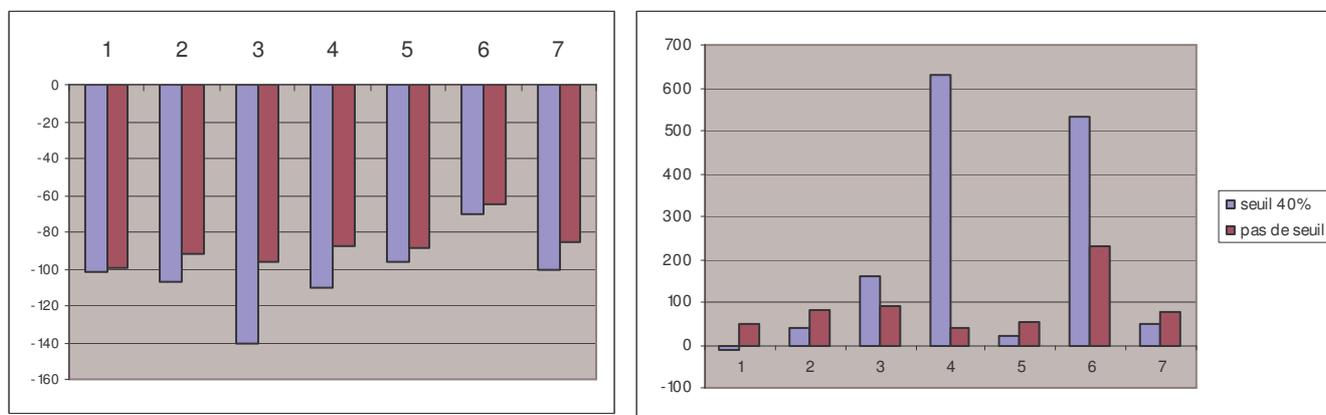
une influence assez élevée sur les niveaux de réduction des pays à l'Annexe I (qui s'ajoute à l'influence des choix scientifiques et méthodologiques pour la Proposition Brésilienne, présentés précédemment).

Pour avoir une idée de l'impact de l'introduction d'un seuil de participation à la Proposition Brésilienne, nous avons comparé les réductions d'émissions à effectuer selon cette « définition » avec les réductions à effectuer **si l'on ne considère pas de seuil de participation** (tous les autres paramètres restant égaux), c'est-à-dire si tous les pays participent dès 2010.

Pourcentage de changement en 2025 par rapport aux niveaux de 1990, pour les variantes (1) avec seuil de participation de 40% du revenu de l'Annexe I, et (2) participation de tous les pays dès 2010 (= « sans seuil »)



Pourcentage de changement en 2050 par rapport aux niveaux de 1990, pour les variantes (1) avec seuil de participation de 40% du revenu de l'Annexe I, et (2) participation de tous les pays dès 2010 (= « sans seuil »)



Pays industrialisés

1. USA
2. Canada
3. OCDE Europe
4. Europe de l'Est
5. Ex-URSS
6. Océanie
7. Japon

Autres

1. Amérique centrale
2. Amérique du Sud
3. Afrique du Nord
4. Afrique sub-saharienne
5. Moyen-Orient et Turquie
6. Asie du Sud
7. Asie de l'Est et du Sud-Est

Source : données provenant de DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, pp.113-114.

Nous voyons que l'instauration d'un seuil de participation a des fortes implications en termes de réductions d'émissions, pour la plupart des pays.

2.2.2.2. Approche Multi-Stage

L'approche Multi-Stage se base sur les idées de Gupta⁶⁸, reprises par l'Institut National de la Santé publique et de l'Environnement des Pays-Bas (RIVM)⁶⁹, puis par d'autres auteurs. L'idée de base est de rassembler les pays en différents groupes (allant au-delà de la division « Annexe I » et « non-Annexe I »), selon les « contextes » particuliers de chacun (en termes de développement économique ou environnemental par exemple). Un indicateur est nécessaire pour effectuer cette répartition des pays en différents groupes. Parmi ceux qui ont été proposés, citons le *revenu per capita* ou les *émissions per capita*. Des **seuils de participation** sont fixés pour déterminer à partir de quel moment un pays entre dans une catégorie ou dans une autre. Chaque groupe se verra assigner un type et un niveau d'engagement différents, de sorte qu'en principe ce système permet que des régions qui ont des « contextes » similaires aient des engagements climatiques similaires. Par exemple, les pays qui font partie du groupe pour lequel la valeur de l'indicateur est la plus faible pourront être dispensés d'engagements, et poursuivre leur scénario d'émissions « business as usual ». Dans les autres groupes, le niveau d'engagement peut être déterminé par une clé de répartition appartenant à une autre approche de répartition des efforts présentée ici, telle que la *Proposition Brésilienne* ou les *Emissions égales per capita*.

Au cours du temps, les « contextes » évoluent. Des pays peuvent ainsi franchir ces seuils et passer au groupe supérieur, dans lequel leurs engagements seront d'un autre type ou d'un niveau plus élevé (plus ambitieux). Il y a donc une augmentation graduelle du nombre de Parties impliquées et de leur niveau d'engagement, sur base d'un ensemble de critères déterminés à l'avance.

Cette approche laisse donc une place importante aux négociations, qui doivent effectuer plusieurs choix : le **nombre d' « étapes »** (stages), le **type d'engagement**, le **critère et le seuil de participation**. Ces choix sont cruciaux tant pour augmenter l'acceptabilité de la Proposition par les différents pays, que pour garantir l'atteinte d'un certain niveau de stabilisation des émissions qui ne soit pas trop élevé.

En ce qui concerne l'approche Multi-stage telle que définie par den Elzen et al., elle compte **quatre étapes** pour les pays non-Annexe I, et groupe ces pays selon le critère de **revenu per capita**.

Etape 1 : concerne les pays non-Annexe I en dessous du seuil de participation de 30% du revenu de 1990 per capita de l'Annexe I (en termes de PPP\$). Durant cette étape, ils n'ont **aucun engagement quantitatif**, et peuvent poursuivre leur scénario d'émissions « baseline » (business as usual).

Etape 2 : les pays qui franchissent le seuil de participation de 30% du revenu de 1990 per capita de l'Annexe I adoptent des **objectifs d'intensité** : leurs autorisations d'émissions sont guidées par des objectifs de « dé-carbonisation », définis comme le taux de réduction dans l'intensité en émissions de leur économie (émissions de CO₂ fossile par unité d'activité économique exprimée en termes de PPP\$). Les objectifs d'intensité sont différents selon qu'il s'agit d'un pays à revenu faible, moyen ou élevé⁷⁰.

⁶⁸ GUPTA J., *Encouraging developing country participation in the climate change regime*, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, Pays-Bas, 1998.

⁶⁹ BERK, M.M. and DEN ELZEN M.G.J., "Options for Differentiation of Future Commitments in Climate Policy: How to Realise Timely Participation to Meet Stringent Climate Goals?", *Climate Policy*, vol n°1, 2001, pp. 465-480.

⁷⁰ Régions à haut revenu (plus de 5000 PPP\$ per capita) : objectif constant de dé-carbonisation de 3% par an. Régions à revenu moyen (entre 2500 et 5000 PPP\$ per capita) : 2% par an à partir de 2010, avec croissance linéaire pour atteindre 3% en 2030. Régions à faible revenu (moins de 2500 PPP\$ per capita) : 1% par an en 2010, et croissance linéaire pour atteindre 3% par an en 2050.

Étape 3 : le seuil de participation pour cette étape est fixé à 40% du revenu de 1990 per capita de l'Annexe I. A partir de ce moment, les pays doivent **stabiliser leurs émissions** absolues pendant 10 ans, pour ensuite passer à l'étape 4.

Étape 4 : **réductions absolues d'émissions**. L'effort de réduction total⁷¹ pour atteindre le profil d'émissions global est partagé entre toutes les Parties participantes sur base d'une clé de répartition (ici, les **émissions per capita**).

En ce qui concerne les pays de l'Annexe I (y compris les Etats-Unis), ils entrent dans le schéma de réduction des efforts (voir étape 4) dès 2010.

2.2.2.3. Contraction&Convergence et Per Capita Convergence

Dès le début du processus de négociation sur le climat, des allocations d'émissions **égales per capita** (« Equal per Capita ») avaient été proposées par les représentants de plusieurs pays en développement⁷². L'idée qui en est la base est un argument moral, selon lequel tous les êtres humains du monde disposent de droits égaux à « utiliser » l'atmosphère, et devraient donc chacun disposer des mêmes autorisations d'émissions. Toutefois, cette proposition n'est actuellement plus à la table des négociations, car jugée inacceptable par les pays industrialisés (elle imposerait aux pays industrialisés une réduction considérable de leurs émissions, tandis que les pays en développement seraient autorisés à augmenter les leurs). Dès lors, cette approche devrait au minimum être adaptée pour permettre une période de transition avant d'atteindre des allocations per capita égales.

Actuellement, l'approche **Contraction&Convergence** est proposée comme une alternative qui permet une période de transition pour les pays développés. Cette approche a été développée par le GCI (Global Commons Institute⁷³) en 1990. Tout d'abord, il faut décider d'une trajectoire globale d'émissions, qui mène à une stabilisation à long terme des concentrations de gaz à effet de serre à un certain niveau (« contraction »). Ensuite, le budget d'émissions global pour chaque année est réparti entre les pays de telle sorte que les autorisations d'émissions per capita convergent à une date déterminée (« convergence »).

En pratique cela signifie que les droits per capita des pays industrialisés vont décroître continuellement, tandis que ceux des pays en développement vont augmenter dans un premier temps, et ensuite décroître après que la convergence ait été atteinte. Il est possible avec ce régime que plusieurs pays en développement reçoivent initialement de grandes quantités d'autorisations d'émissions en surplus (« hot air »), tandis que de nombreux pays industrialisés ne parviendront pas à respecter leur budget d'émissions. Dès lors, ces derniers ont fortement recours au commerce des permis prévu par le Protocole de Kyoto.

Les paramètres sur lesquels les pays doivent se mettre d'accord selon cette approche sont donc le **niveau de concentrations** que l'on ne veut pas dépasser, et la **date à laquelle se fera la convergence** des émissions per capita. Plus tôt l'on fixera la date de convergence, plus les pays dont les émissions sont faibles auront à gagner avec ce régime.

Dans l'étude de den Elzen et al., l'approche Contraction&Convergence est adaptée en une approche « Per Capita Convergence », qui en est fort proche. Les différences qui peuvent être notées sont le fait que l'approche de den Elzen se base sur une équation linéaire (alors que l'approche originale était basée sur une équation non-linéaire), et le fait qu'ils prennent en

⁷¹ La différence entre les émissions restantes aux temps t et $t-1$, les émissions restantes étant les émissions du profil moins les émissions des régions qui sont dans les étapes 1, 2 et 3.

⁷² AGARWAL A. et NARAIN S., *Global Warming in an Unequal World, a case of environmental colonialism*, Center for Science and Environment, New Delhi, India.

⁷³ Groupe indépendant basé au Royaume-Uni, dirigé par A. Meyer.

compte la croissance de la population, selon le scénario baseline CPI (ce qui n'était que partiellement fait à l'origine).

Le cas de référence prévoit une convergence linéaire des autorisations d'émissions de CO₂ fossile **entre 2010 et 2050** (période de convergence de 40 ans), toujours sous le profil de stabilisation de 450 ppmv.

2.2.2.4. L'approche « Preference Score »

La méthode Preference Score⁷⁴ est une « proposition mixte »: il s'agit d'une moyenne arithmétique pondérée des droits d'émissions selon deux clés de répartition proposées par les Parties pour partager les autorisations d'émissions globales: (1) *grandfathering*⁷⁵ et (2) *allocations d'émissions per capita*⁷⁶. Toutes les régions rejoignent le régime d'allocation des émissions immédiatement après la période Kyoto. L'idée est de trouver une solution pratique qui serait un compromis juste à la fois pour les pays industrialisés et pour les pays en développement (justice procédurale).

Un élément clé de cette approche est la détermination de la pondération. La méthode Preference Score propose de déterminer ces pondérations de sorte qu'elles reflètent la préférence sociale générale par rapport aux différentes clés de répartition proposées par les Parties.

Le processus Preference Score se déroule en deux étapes: premièrement l'étape de vote, suivie de l'allocation des émissions sur base d'une moyenne des préférences pondérées par la population. La cas de référence applique l'approche Preference Score entre 2010 et 2050.

Pendant l'étape de vote, chaque région détermine sa méthode de répartition (*per capita* ou *grandfathering*) préférée (celle qui lui est la plus favorable). Sur base de la part totale de la population mondiale en faveur de chaque méthode, des facteurs de pondération sont déterminés pour le *grandfathering* (α) et l'allocation *per capita* (β), de sorte que $\alpha + \beta = 1$. Ainsi, α représente le pourcentage de la population mondiale qui voterait pour l'allocation selon la méthode *grandfathering*, si l'on considère que chaque habitant d'un pays qui vote pour cette méthode aurait lui-même voté de la sorte. Et β représente le pourcentage de la population mondiale qui aurait voté pour l'allocation *per capita*⁷⁷. Ces facteurs reflètent la désirabilité sociale de chaque clé de répartition.

Ensuite, les droits d'émissions accordés à la région R (S_R) sont calculées comme la moyenne pondérée (par la population) entre les droits d'émissions qui seraient attribuées à la région R selon l'*allocation per capita* (PC_R) et selon le *grandfathering* (GF_R), en utilisant les pondérations calculées α et β , comme suit:

$$S_R(t) = \alpha(t_{ref}).GF_R(t_{ref}) + \beta(t_{ref}).PC_R(t_{ref})$$

où t est l'année de calcul. Le calcul de ces proportions est dépendant du **délai politique** (policy delay) supposé (pd). Ce délai politique est utilisé pour calculer l'année de référence ($t_{ref} = t - pd$), qui est l'année à partir de laquelle les données sont utilisées pour calculer les

⁷⁴ MÜLLER B., *Justice in Global Warming Negotiations – How to obtain a procedurally fair compromise*, Oxford Institute for Energy Studies, Octobre 1999.

⁷⁵ Chaque Partie reçoit des permis d'émissions annuels proportionnellement à ses émissions « baseline » (ou « business as usual »), voir point 2.2.2.7.

⁷⁶ Distribution des autorisations d'émissions proportionnellement à la population « baseline » de chaque région.

⁷⁷ Sur base des calculs avec les parts d'émissions et de populations de l'année de départ, 2010, les régions de l'Annexe I, ainsi que la Turquie et le Moyen-Orient, auront une préférence pour le *grandfathering*, tandis que les autres régions non-Annexe I préféreront une répartition selon la population.

parts d'émissions et les pondérations. Pour la cas de référence, ce délai politique est fixé à 10 ans. Les émissions absolues autorisées sont dépendantes du profil d'émissions global.

2.2.2.5. Jacoby Rule et autres allocations basées sur le coût de réduction des émissions

Un certain nombre de propositions suggèrent de baser les schémas d'allocation sur une évaluation des coûts. En effet, les considérations de coûts sont un facteur d'importance majeure pour les pays qui adoptent des stratégies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, au vu des implications sur la croissance économique et la compétitivité, sur l'emploi, etc.

Diverses méthodes peuvent être reprises sous cette catégorie, ayant toutes en commun qu'elles se focalisent sur les coûts pour déterminer le timing et la répartition des efforts. Au-delà de cette caractéristique commune, leurs aspects techniques peuvent être très variés.

L'une des principales approches de cette catégorie est appelée « **Ability to pay** » ou « **Jacoby Rule** »⁷⁸. Cette approche agit comme un régime « multi-stage », intégrant progressivement les pays non-Annexe I dans un système global de réduction d'émissions : un seuil de bien-être per capita (indicateur de la « capacité à payer », et calculé en termes de revenu per capita, selon la Parité de Pouvoir d'Achat) déclenche l'adhésion d'un pays au schéma global. Avant cela, les Parties suivent leur scénario d'émissions « business as usual » sans réduire leurs émissions.

La principale différence avec d'autres approches que nous avons présentées est que les autorisations d'émissions régionales ne sont pas calculées en répartissant les émissions totales autorisées (qui visent un objectif global de stabilisation) selon des règles de partage des efforts prédéfinies. La réduction d'émissions est calculée sur base de la différence entre le niveau déclencheur de revenu per capita et le revenu per capita d'une région déterminée⁷⁹. Il y a donc différents niveaux d'engagements de réductions pour atteindre les objectifs climatiques à long terme, ces niveaux étant fonction des niveaux de PIB per capita des différents pays. Par conséquent, les émissions totales régionales sont calculées « bottom-up », ce qui implique que ces émissions ne sont pas par définition égales au profil d'émissions global.

Il sera question de cette approche dans la partie 4 du présent mémoire. La variable la plus importante dans ce régime est le **déclencheur de bien-être per capita**.

Le fait que l'approche Jacoby Rule soit à l'origine une approche « bottom-up » implique que la concentration future de gaz à effet de serre n'est pas déterminée à l'avance. Cependant, den Elzen et al. ont transformé cette approche pour la rendre « top-down », de manière à respecter le profil d'émission globale de 450 ppmv de CO₂ et permettre la comparaison avec les autres approches. Ils ont choisi un **déclencheur de 40% du revenu 1990 de l'Annexe I** (en \$PPP). Cela ne mène pas à une convergence des émissions per capita

⁷⁸ Jacoby et al., 1999.

⁷⁹ Le taux de réduction d'émissions d'une région au temps t ($\eta_r(t)$) est alors calculé en utilisant la différence entre le niveau de bien-être déclencheur (w^* en \$PPP per capita par an) et le bien-être per capita de la période temporelle précédente, $w_r(t-1)$:

$\eta_r(t) = \gamma - \alpha(w_r(t-1) - w^*)^\beta$ En utilisant cette équation, l'autorisation d'émissions d'une région r au temps t ($E_r(t)$) est : $E_r(t) = E_r(t-1) + \eta_r(t) \cdot E_r(t-1)$ si $w_r(t-1) > w^*$, et $E_r(t) = BE_{ref}(t)$ sinon, où $BE_r(t)$ représente les émissions baseline d'une région r ; $E_r(t-1)$ est l'autorisation d'émissions d'une région r à la période temporelle précédente. Le niveau de bien-être déclencheur est le paramètre-clé dans cette approche, tandis que les trois paramètres α , β et γ sont des variables de réglage utilisées pour reproduire les émissions globales (somme des émissions régionales) qui s'ajustent le mieux au profil d'émissions global.

Annexe I et non-Annexe I. (Les **paramètres α , β et γ** de l'équation ont été fixés à respectivement 0.050, 0.040 et 0.040).

Autres exemples d'approches basées sur le coût (ces approches ne seront pas traitées dans la suite du travail):

- « **Equal mitigations costs** »⁸⁰: l'allocation des émissions est fixée de manière à rendre égaux les coûts de bien-être per capita.
- « **UN budget contributions** »⁸¹: l'allocation est fixée de manière à entraîner des coûts sur une base per capita qui suit la règle utilisée pour les proportions de contributions des pays au budget des Nations Unies.
- « **No harm rule** »⁸²: cette règle s'applique aux pays en développement. Les émissions « business as usual » (éventuellement réduits par des actions win-win) forment des objectifs d'émissions. De tels objectifs sont dès lors perçus comme n'entraînant pas de dommage (« no harm »). L'essence de la proposition est de permettre aux pays industrialisés d'accéder à des opportunités de réduction bon marché dans les pays en développement, par le biais du commerce international d'émissions.

La plupart des propositions d'allocation basées sur le coût suggérées ici exigeraient un accord sur la manière de modéliser et d'évaluer les coûts des politiques, une question à propos de laquelle le GIEC n'a pas encore atteint de consensus. Cela serait une barrière majeure à l'application de ces méthodes pour déterminer les engagements des pays. La « no harm rule », cependant, exigerait seulement un accord sur les tendances d'émissions « business as usual ».

2.2.2.6. Approche Triptyque Globale (cette approche ne sera pas incluse à la comparaison par la suite)

L'approche Triptyque Globale, décrite par Groenenberg et al.⁸³, est l'application à l'échelle globale du modèle triptyque qui a été utilisé pour définir la répartition des efforts entre les pays de l'Union Européenne pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto. Tout comme l'approche précédente, tout les pays participent et l'idée est d'atteindre une convergence. Cependant, son originalité est qu'elle fait la distinction entre différents secteurs de l'économie, pour lesquels des objectifs dynamiques spécifiques sont prévus et une forme de convergence est prévue pour une date future.

- Secteur de la production d'électricité : convergence de l'intensité en émission de gaz à effet de serre
- Secteur de l'industrie à haute intensité énergétique : convergence de l'efficacité énergétique
- Secteur domestique (incluant les ménages, les services et l'industrie à faible intensité énergétique) : convergence des émissions per capita.

Chaque pays reçoit un objectif absolu qui est la somme des objectifs sectoriels spécifiques. Ces autorisations d'émissions doivent être compatibles avec une stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre.

L'approche Triptyque Globale est donc une sorte d'approche « contraction and convergence » sectorielle. Un choix à effectuer est la date de convergence.

⁸⁰ Babiker et Eckaus, 2000.

⁸¹ Babiker et Eckaus, 2000.

⁸² Edmonds, Wise et Barns, 1995.

⁸³ GROENENBERG H., PHYLIPSEN D. et BLOK K., "Differentiating commitments worldwide: global differentiation of GHG emissions reductions based on the Triptych approach – a preliminary assessment", *Energy Policy*, volume 29, n°12, 2001, pp. 1007-1030.

Remarque : l'approche « Multi-sector Convergence »⁸⁴ est similaire à l'approche Triptyque Globale, mais propose un schéma d'allocation plus complexe sur base de sept secteurs (au lieu de trois) : production d'électricité, ménages, transports, industrie, services, agriculture, et déchets.

2.2.2.7. « Grandfathering »⁸⁵ (ou « droits acquis ») (cette approche ne sera pas incluse à la comparaison par la suite)

« Grandfathering » alloue les budgets d'émissions sur base des émissions d'une année de référence déterminée. Les objectifs fixés pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto en sont fortement inspirés. Appliquée à l'échelle globale, cette approche est évidemment la préférée des pays qui ont déjà des émissions per capita élevées lors de la période de référence (surtout les pays industrialisés), tandis qu'elle n'est pas du tout à l'avantage des pays qui ont des émissions « business as usual » en forte croissance (pays en développement).

2.2.3. Approches non quantitatives

Outre les approches quantitatives, différentes options non quantitatives ont été proposées dans la littérature. Celles-ci ne fournissent aucune certitude quant à une stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre à un niveau déterminé. Peu d'auteurs abordent ces approches, s'intéressant davantage aux approches qui fixent des objectifs quantitatifs.

Parmi les approches non quantitatives, citons les *Politiques et Mesures*⁸⁶, qui consistent en des engagements volontaires de la part des pays et qui peuvent inclure des accords volontaires entre les gouvernements et d'autres acteurs. Les pays les plus développés donneraient des fonds à une institution qui aiderait à financer des technologies plus énergétiquement efficaces dans les pays en développement. Les pays bénéficiaires devraient alors s'engager à des actions de réduction d'émissions. Des *accords technologiques*⁸⁷ peuvent également être envisagés, ainsi que des *taxes sur le carbone*⁸⁸.

Remarque :

Il est possible de considérer un ensemble d'options plus large en combinant les différentes options entre elles de plusieurs manières. Par exemple, la plupart des schémas de timing/allocation pourraient fonctionner avec les différentes options qualitatives pour les objectifs, que ce soit indépendamment ou simultanément. De plus, on pourrait combiner des caractéristiques d'approches quantitatives avec d'autres caractéristiques des approches non quantitatives. Les différentes options peuvent coexister à différents niveaux, que ce soit entre les différents pays ou au sein de ceux-ci.

⁸⁴ SIJM, JANSEN et TORVANGER (2001)

⁸⁵ Approche non reprise dans le classement de PHILBERT C., op.cit. Description de l'approche basée sur MICHAELOWA A., TANGEN K. and HASSELKNIPPE H., "Issues and Options for the Post-2012 Climate Architecture – An Overview", *International Environmental Agreements*, (2005) 5:5–24, Springer 2005.

⁸⁶ Schelling 2002, Winkler et al. 2002, Reinstein 2004.

⁸⁷ Edmonds et Wise 1999, Barrett 2001 et 2003, Benedick 2001, Philibert 2003 et 2004.

⁸⁸ Cooper 1998, Pizer 2002, Newell et Pizer 2003.

PARTIE 3 : DISCUSSION

3.1. Développements autour de la Proposition Brésilienne

3.1.1. Importance des choix scientifiques et méthodologiques

Dans le point 2.1 (pages 19 à 47), nous avons, nous avons examiné différents aspects scientifiques et méthodologiques. Nous avons vu qu'ils pouvaient avoir une influence significative sur les résultats d'attribution des responsabilités historiques, modifiant par la même occasion la date de convergence des responsabilités des pays de l'Annexe I et non Annexe I dans les changements climatiques. Il convient à présent de savoir quelle est l'amplitude des impacts liés à ces incertitudes, et quels choix seront plus déterminants dans les calculs de responsabilité historique relative des différentes régions dans les changements climatiques.

De façon assez générale, l'influence des incertitudes scientifiques est importante. Cependant, l'impact de ces incertitudes est limité en comparaison de l'impact des choix méthodologiques sur les résultats⁸⁹.

En ce qui concerne les choix méthodologiques, selon den Elzen et al.⁹⁰, lorsque l'on considère les quatre régions définies par le GIEC et les paramètres par défaut spécifiés dans l'ACCC, le choix qui a la plus grande influence sur les contributions est le choix des sources d'émissions incluses ou exclues (seulement CO₂ fossile, toutes sources de CO₂, ou tous les gaz Kyoto). Ensuite, les horizons temporels (date de début d'évaluation et délai entre la date de fin d'attribution et la date d'évaluation) et le choix de l'indicateur ont un grand impact. Le choix de la méthode d'attribution, quant à lui, a une importance relativement faible sur les contributions calculées.

Concernant les aspects scientifiques, seul le choix de la base de données pour les émissions historiques liées au changement dans l'utilisation des sols a un effet significatif. Le choix du modèle climatique, des feedbacks et de la sensibilité climatique n'ont pas d'effet significatif sur les contributions relatives.

Il est nécessaire de prendre conscience que ces conclusions sont valables pour le cas général des quatre régions définies par le GIEC, et que des facteurs qui n'ont pas une influence importante pourraient être plus significatifs lorsque l'on divise ces régions en de plus petits groupes de pays.

L'impact des incertitudes sur les contributions *relatives* est plus petit que l'impact des incertitudes sur les variations *absolues* de température.

Quand la responsabilité dans la variation de température globale est attribuée à toutes les régions émettrices du monde, les impacts des incertitudes de modèle et des choix méthodologiques sont considérables. Cependant, si les contributions relatives sont calculées seulement au sein du groupe des pays de l'Annexe I (comme le souhaitait la Proposition Brésilienne originale), les résultats sont moins sensibles à ces considérations. En effet, les émissions historiques au sein des pays de l'Annexe I sont plus homogènes⁹¹ que les émissions considérées à l'échelle mondiale. Dès lors, l'incertitude sera limitée et les auteurs⁹²

⁸⁹ DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, op.cit.

⁹⁰ DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, op.cit.

⁹¹ Il existe cependant des exceptions pour l'ex Union Soviétique et l'Océanie (Australie, Nouvelle Zélande, Etats des îles de Polynésie) car ceux-ci présentent une large part d'émissions de CO₂ liées aux activités d'utilisation des sols, depuis 1950.

⁹² DEN ELZEN, SCHAEFFER et LUCAS, op.cit.

considèrent que la Proposition Brésilienne peut être utilisée comme base pour une différenciation des engagements futurs au sein de l'Annexe I.

Quant au partage des charges entre toutes les régions du monde, aucun auteur ne se prononce sur l'ampleur des incertitudes et l'applicabilité ou non de la Proposition Brésilienne. Il apparaît toutefois que ces différents choix et incertitudes peuvent poser problème lors de négociations internationales sur la différenciation des engagements : même si la Proposition Brésilienne est en apparence basée sur un critère de répartition objectif, chaque pays favorisera les choix méthodologiques qui lui imposent la responsabilité la plus faible, afin de se voir imposer les réductions les moins contraignantes possibles. Dès lors, la répartition des charges sera quand même soumise au pouvoir de négociation des pays et il sera difficile d'atteindre un compromis si aucune « définition » unique et commune de la Proposition Brésilienne n'est acceptée. Or, à l'heure actuelle une telle « définition » n'existe pas. Le groupe MATCH qui est chargé d'étudier les aspects scientifiques et méthodologiques évalue les implications des différents choix, mais ne formule pas de recommandations réelles.

Pour terminer, il est important de souligner que les résultats obtenus lors de l'exercice de modélisation coordonnée ACCC, et analysés actuellement, sont très différents de ceux qui peuvent être calculés en utilisant la méthodologie brésilienne originale, et même la méthodologie révisée de 1998. Il semble que la méthodologie brésilienne surestime les contributions des pays de l'Annexe I à l'augmentation de la température, tandis qu'elle sous-estime la contribution des régions en croissance rapide⁹³.

3.1.2. Possibilités futures pour la Proposition Brésilienne

La littérature relève certains atouts de la Proposition Brésilienne.

Contrairement au Protocole de Kyoto tel qu'il a été adopté, elle relève du principe du « pollueur-payeur », qui est accepté par de nombreux pays, et également le principe de responsabilités communes mais différenciées, qui est énoncé dans la Convention-Cadre des Nations Unies.

Selon les experts brésiliens⁹⁴, le schéma de répartition des efforts de la Proposition Brésilienne reste une idée utile : *« Jusqu'à présent, les négociations sur les limitations d'émissions des pays en développement sous la Convention sont dans l'impasse. Les pays en développement insistent pour établir un lien entre les buts de la Convention et le développement durable au travers de mécanismes qui transfèrent des ressources financières et des technologies du Nord au Sud. A l'inverse, les pays à l'Annexe I se focalisent sur leurs pertes économiques dues à l'atténuation des émissions de GES et insistent sur la nécessité d'intégrer les pays en développement pour atteindre les objectifs de la Convention en matière de prévention des changements climatiques dangereux. La Proposition Brésilienne fournit un point de départ pour franchir cette impasse. Tout en se focalisant sur l'objectif principal de stabilisation du climat global, elle quantifie les différentes contributions individuelles de chaque Partie à l'augmentation existante de la température globale, et, en conséquence, aux efforts requis pour résoudre ou minimiser le problème.*

L'approche proposée est inspirée par la science. C'est une bonne nouvelle, puisqu'elle évite un schéma de partage d'émissions basé uniquement sur le pouvoir de négociation des Parties assises à la table des négociations. Les accords poussés purement par le pouvoir de

⁹³ DEN ELZEN M.G.J., BERK M., SCHAEFFER M., OLIVIER J., HENDRIKS C., METZ B., *The Brazilian Proposal and other Options for International Burden Sharing: an evaluation of methodological and policy aspects using the FAIR model*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), 1999, p.60

⁹⁴ PINGUELLI ROSA, MUYLEAERT. et PIRES DE CAMPOS, op.cit.

négociation des Parties sont sujets à toutes sortes d'asymétries et d'imperfections, comme illustré dans le processus menant à l'établissement des objectifs de Kyoto. Cependant, il doit être noté que l'approche de la Proposition Brésilienne pour établir la responsabilité n'est pas sans controverse, comme signalé plus haut.

Finalemment, l'adoption du schéma de répartition des efforts de la Proposition Brésilienne serait compatible avec les mécanismes de flexibilité de Kyoto, permettant le déploiement de forces de marché pour aider à rendre le schéma facilement opérationnel. En fait, la Proposition Brésilienne s'intéresse surtout à l'établissement d'objectifs pour limiter les émissions des Parties à la Convention (schéma de répartition des efforts) et peut laisser les questions délicates d'application pratique en suspens, telles le respect et les limites au commerce des émissions, ouvertes à des négociations futures. »

A l'origine, la Proposition Brésilienne était un schéma de partage des efforts de réduction conçu pour être appliqué uniquement aux Parties à l'Annexe I. Néanmoins, bien que le Mandat de Berlin se limite à réclamer des engagements quantifiés de réductions d'émissions pour les pays développés, plusieurs pays (tels que les Etats-Unis) font fortement pression pour obtenir également des engagements de la part des pays en développement (qui sont eux aussi des pollueurs, et sont amenés à le devenir de plus en plus). La Proposition Brésilienne fournit des pourcentages de responsabilité relative qui donnent lieu à des objectifs individuels en termes de *réductions* absolues d'émissions. Dès lors, un problème peut surgir lorsque l'on envisage d'appliquer ce schéma de répartition des réductions à l'**échelle globale** : les objectifs de développement économique de certains pays (essentiellement non-Annexe I) peuvent être difficilement compatibles avec des objectifs de réduction d'émissions.

Certains auteurs⁹⁵ suggèrent pour cette raison de limiter l'application de la Proposition Brésilienne aux pays de l'Annexe I, tandis que les pays en développement adopteraient des engagements volontaires et non contraignants. Toutefois, agir ainsi limiterait l'une des opportunités offertes par la Proposition Brésilienne, à savoir le fait qu'elle pourrait potentiellement inclure les pays non-Annexe I à une politique climatique mondiale.

Une autre solution consiste à déterminer des « seuils de participation »⁹⁶ individuels ou collectifs pour les pays en développement, en dessous desquels ils ne devraient pas s'engager à des objectifs de réduction. Il s'agit en fait de la définition de la Proposition brésilienne que nous avons adoptée pour la comparaison qui suit, et qui a été expliquée en détail au point 2.2.2.1 page 51.

Une autre possibilité est de retarder la participation de tous les pays en développement jusqu'au moment où leur responsabilité relative dépasse celle des pays industrialisés⁹⁷. Ils n'auraient aucun engagement avant cette date. Cette approche présente l'avantage de fournir un incitant aux pays de l'Annexe I pour qu'ils prennent des mesures rapides de réductions, étant donné que plus tôt ils commencent à implanter leurs actions d'atténuation, plus tôt les pays hors Annexe I seront amenés à participer. Cependant, nous avons vu précédemment que divers choix méthodologiques peuvent influencer le calcul de la date de convergence entre les responsabilités relative des pays de l'Annexe et des pays hors Annexe I. En effet, chaque choix exerce une influence sur les contributions relatives des différentes régions, et donc sur la date de convergence des responsabilités. A titre d'exemple, citons le fait que la Proposition Brésilienne originale estimait cette date en l'an 2162, tandis que sa version révisée suggérait 2147, et d'autres auteurs⁹⁸ la situent en 2055 (toujours pour l'indicateur d'*augmentation de la*

⁹⁵ LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit.

⁹⁶ DEN ELZEN, SCHAEFFER. et LUCAS, op.cit. et DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT. et VAN VUUREN, op.cit.

⁹⁷ LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit.

⁹⁸ DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M., "Responsibility for past and future global warming: uncertainties in attributing anthropogenic climate change", *Climatic Change*, vol.54, n°1-2, juillet 2002, pp.29-73.

température). Si l'on choisit l'indicateur d'*émissions cumulées* de CO₂, le Rapport Spécial du GIEC sur les Scénarios d'Émissions (2000) a estimé la date de convergence entre 2040 (scénario A1), 2050 (scénarios A2 et B1) et 2110 (scénario B2).

Il existe une variante à cette solution. Avant que le croisement Annexe I/non Annexe I ne se produise, certains pays non Annexe I individuels (ceux qui contribuent fortement aux changements climatiques) pourraient atteindre un seuil individuel de responsabilité relative (à négocier) qui marquerait la fin de leur période sans engagement. A ce moment, ce pays sera tenu de se fixer un objectif d'émissions maximales, et recevra une compensation financière pour lui permettre de le respecter.

Ces modifications restent en accord avec l'esprit original de la Proposition Brésilienne, tout en la rendant plus acceptable pour de nombreuses Parties à la Convention. Elles permettent de faire diminuer continuellement les émissions annuelles de gaz à effet de serre des pays développés, tout en autorisant celles des pays en développement à croître pendant une certaine période, pour ensuite se stabiliser et finalement diminuer. Grâce à ces approches, les pays non Annexe I sont récompensés pour toutes les actions de réduction d'émissions qu'ils prennent rapidement, car celles-ci leur permettent d'avoir des objectifs moins stricts pour le futur.

Bien que la majorité des Parties envisagent la Proposition Brésilienne dans le cadre de son application à l'échelle globale, il faut néanmoins constater que les Brésiliens qui en sont l'origine ne partagent pas ce point de vue. Lors de la dernière rencontre du groupe d'experts MATCH (Louvain-la-Neuve, mars 2006) sur les aspects scientifiques et méthodologiques de la Proposition Brésilienne, les Brésiliens ont pris la parole pour donner leur avis sur l'avenir de la Proposition. Ils ont à cette occasion précisé qu'elle avait été conçue pour être appliquée aux pays de l'Annexe I, et qu'ils ne souhaitaient pas qu'elle soit étendue à l'échelle globale.

D'autres possibilités sont évoquées dans la littérature pour l'avenir de la Proposition Brésilienne, sans être détaillées. Citons la suggestion faite lors de la rencontre d'experts de 1999 à Cachoeira Paulista, qui propose de compléter cette approche par l'approche Tryptique dont nous parlerons dans la partie suivante. Il s'agirait dès lors de tenir compte de l'effet des émissions de carbone liées aux biens exportés, mais aussi de différences existantes dans la structure économique des différents pays, sur les émissions de ces pays. Cette approche n'a, à notre connaissance, jamais été développée.

D'autres auteurs⁹⁹ évoquent la possibilité d'utiliser la responsabilité relative non seulement comme clé de répartition des efforts d'*atténuation*, mais également comme clé de répartition des contributions financières qu'il faudrait payer pour gérer le problème de l'*adaptation* aux changements climatiques.

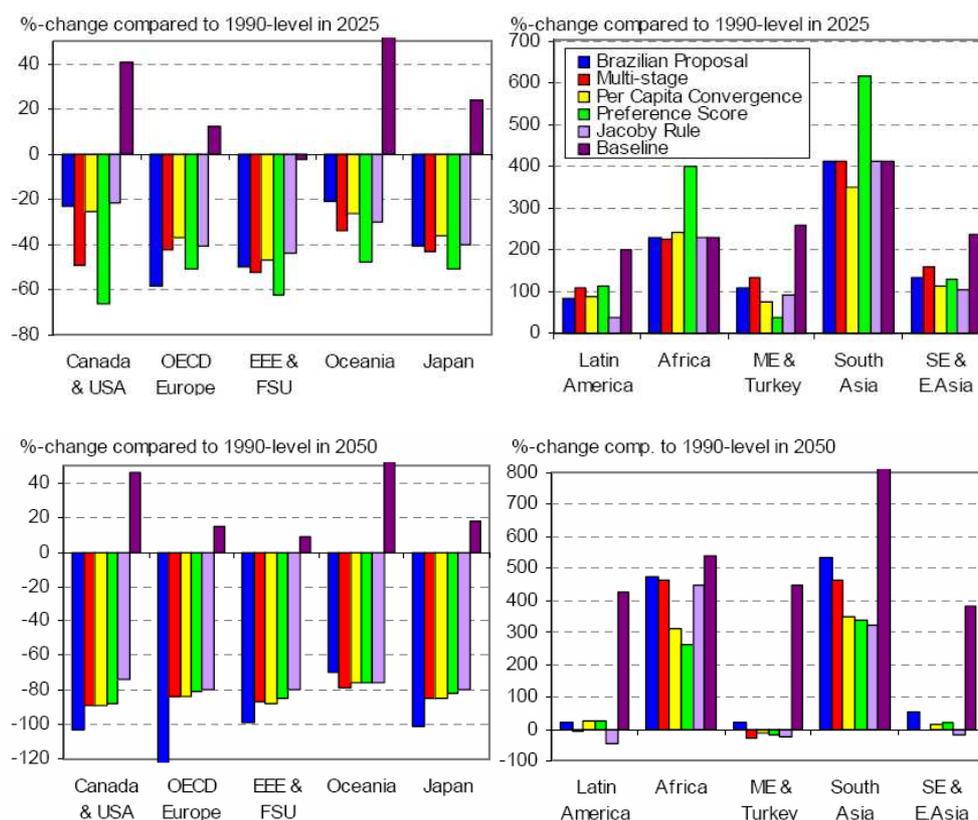
⁹⁹ HÖHNE et BLOK, op.cit.

3.2. Essai de comparaison des différents régimes post-Kyoto et place de la Proposition Brésilienne

3.2.1. Comparaison des réductions d'émissions qui découlent des différents régimes

Den Elzen et al.¹⁰⁰ ont estimé les allocations futures de droits démissions d'émissions pour la période 2010-2050, selon cinq méthodes de différenciation des engagements telles que nous les avons définies dans le point 2.2.2. (pages 48 à 58) (en considérant toujours le scénario de stabilisation de la concentration de CO₂ à 450 ppmv). Ces estimations, réalisées à l'aide du modèle FAIR 2.0 (Framework to Assess International Regimes for differentiation of future commitments)¹⁰¹ sont présentées ci-dessous¹⁰² (notons qu'elles ont dans les premiers histogrammes comparées aux niveaux d'émissions de 1990, et ensuite aux niveaux « baseline »).

Pourcentage de changement dans les autorisations d'émissions par rapport aux niveaux de 1990, pour 2025 (en haut) et 2050 (en bas)



Source : DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.70.

¹⁰⁰ DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, pp.69-84

¹⁰¹ Den Elzen et Lucas, 2003.

¹⁰² Les estimations sont limitées aux émissions de CO₂ liées à l'énergie et à l'industrie.

Nous voyons que pour les régions de l'Annexe I, des réductions d'émissions d'au moins 20-60% en **2025**, comparé aux niveaux de 1990, sont nécessaires pour atteindre l'objectif de stabilisation fixé. Pour **2050** (excepté pour la Proposition Brésilienne), les réductions sont d'environ 70-90%. En ce qui concerne la Proposition Brésilienne, elle impose aux régions de l'Annexe I (sauf l'Océanie) des réductions d'émissions de plus de 100% par rapport aux niveaux de 1990, ce qui revient à leur octroyer des droits d'émissions négatifs.

Pour la partie européenne de l'OCDE, les réductions en comparaison avec les niveaux de 1990 sont de 40-60% en 2025 et 80-90% en 2050 (sauf pour la Proposition Brésilienne avec des réductions de plus de 100% en 2050).

Les auteurs ont également présenté un tableau qui montre, pour chaque région, **quelle approche lui donne le plus ou le moins de droits d'émissions** (nous appellerons « méthode la plus favorable » pour une région celle qui lui donne le plus de droits d'émissions, ou les réductions d'émissions les plus faibles par rapport aux autres approches). Cela ne suffit pas à déterminer **l'attractivité** de chaque approche pour la région concernée, étant donné que l'attractivité est fonction d'un ensemble bien plus large de critères que nous évaluerons par la suite (voir point 3.2.3 pages 74). Comme nous allons le voir, ils ont montré en comparant les résultats pour 2025 et 2050 que l'approche la plus « favorable » à une région peut varier avec le temps (surtout en ce qui concerne la Proposition Brésilienne, Per Capita Convergence et Preference Score).

Les deux tableaux ci-dessous classent, respectivement pour 2025 et 2050, le pourcentage de changement par rapport au niveau d'émissions baseline (et non plus par rapport au niveaux de 1990) de chaque régime, en comparaison avec les résultats des autres régimes examinés.

Scores relatifs régionaux pour les cas de référence des différentes approches, d'ici 2025, sous le profil de stabilisation à 450 ppmv de CO₂, en comparaison avec le scénario baseline.

	Brazilian Proposal	Multi-Stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Canada & USA	-45**	-64	-47	-76	-44
OECD Europe	-63	-49	-44	-56	-47
EEUR & FSU	-49	-52	-46	-62	-43
Oceania	-55	-63	-59	-70	-61
Japan	-52	-54	-49	-60	-51
Latin America	-39	-31	-37	-28	-53
Africa	0***	-1	4	52	0
ME & Turkey	-42	-34	-51	-62	-46
South Asia	0	0	-12	39	0
SE & E. Asia	-31	-24	-38	-33	-39

* Les **aires en vert** indiquent le(s) régime(s) le(s) plus favorable(s) en termes de droits d'émissions pour la région considérée (c'est-à-dire le(s) régime(s) qui donnent lieu aux réductions d'émissions les plus basses ou aux autorisations d'émissions les plus élevées), tandis que les **aires en rouge** indiquent le(s) régime(s) le(s) moins favorables de ce point de vue. Le **blanc** indique une position intermédiaire.

** Si les différences entre deux approches ne sont pas significatives (moins de 5% en termes absolus), les deux sont placées dans le même groupe.

*** Si les différences entre plus de deux approches ne sont pas significatives (moins de 5% en termes absolus), toutes sont indiquées en blanc.

Scores relatifs régionaux pour les cas de référence des différentes approches, d'ici 2050, sous le profil de stabilisation à 450 ppmv de CO₂, en comparaison avec le scénario baseline.

	Brazilian Proposal	Multi-Stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Canada & USA	-102	-92	-92	-91	-82
OECD Europe	-135	-86**	-86	-83	-83
EEUR & FSU	-99	-88	-88	-86	-81
Oceania	-86	-90	-89	-88	-89
Japan	-101	-87	-87	-84	-83
Latin America	-77	-83	-76	-77	-90
Africa	-10	-12	-36	-43	-15
ME & Turkey	-78	-87	-84	-85	-86
South Asia	-37	-44	-56	-57	-58
SE & E. Asia	-69	-80	-76	-75	-84

** Si les différences entre plus de trois approches ne sont pas significatives (moins de 5% en termes absolus), toutes sont indiquées en blanc.

Source : DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.72.

D'après ces tableaux, il semble qu'en 2025 la **Proposition Brésilienne** soit particulièrement peu favorable pour l'Europe, en termes de réductions d'émissions, à cause de ses fortes contributions historiques à l'augmentation de la température. En 2050, elle est le régime le moins favorable pour toutes les régions de l'Annexe I, à l'exception de l'Océanie. Certaines régions sont même confrontées à des autorisations d'émissions négatives.

En ce qui concerne les régions non-Annexe I, certaines (telles l'Amérique latine, le Moyen-Orient et la Turquie) se voient assigner en 2025 de relativement forts objectifs de réduction. En 2050, la Proposition brésilienne devient au contraire la plus favorable pour certains régions non-Annexe I, en raison de leurs faibles contributions historiques relatives et des réductions sévères imposées aux régions de l'Annexe I.

Quant à l'approche **Multi-stage**, elle est en 2025 l'une des approches les moins favorables pour le Canada et les Etats-Unis en raison de la clé de partage des efforts liée aux émissions per capita. En 2050, elle se situe dans une position intermédiaire par rapport aux autres régimes, pour toutes les régions de l'Annexe I. Les résultats sont pour celles-ci similaires à ceux obtenus avec les approches Per Capita Convergence et Preference Score.

Pour toutes les régions non-Annexe I (sauf l'Afrique), l'approche Multi-stage est l'une des plus favorables en 2025 (plus favorable que la Proposition Brésilienne et Jacoby Rule). Par contre, pour l'Afrique elle ne s'avère pas tellement favorable car elle ne permet pas à cette région de profiter de surplus d'émissions. En 2050, l'approche devient surtout intéressante en termes d'allocations d'émissions, pour les régions à faible revenu.

Per Capita Convergence est en 2025 l'approche la plus favorable pour l'Europe et le Japon à cause de leurs émissions per capita relativement basses, et du fait que tous les pays contribuent sous ce régime.

Les pays non-Annexe I ne sont pas particulièrement favorisés par ce régime, surtout en ce qui concerne les pays à faible revenu.

L'approche **Preference Score** est en 2025 clairement la moins favorable pour la plupart des régions de l'OCDE à cause de la re-allocation initiale des émissions per capita en vue d'une convergence. Ce n'est plus le cas en 2050 : les autorisations d'émissions sont alors comparables à celles du régime Per Capita Convergence.

De la même manière, l'approche Preference Score est en 2025 la plus favorable pour les régions non-Annexe I (à l'exception du Moyen-Orient et de la Turquie qui ont des émissions per capita relativement élevées), tandis qu'en 2050 ce n'est plus vrai : les réductions d'émissions à réaliser par ces régions sont plus grandes.

Enfin, l'approche **Jacoby Rule**, elle est l'une des plus favorables pour les régions de l'Annexe I (tant en 2025 qu'en 2050), mais est peu favorable pour les régions non-Annexe I (en 2025, c'est surtout le cas pour l'Amérique latine et l'Asie de l'Est et du Sud-Est qui ont des hauts niveaux de revenus per capita, tandis qu'en 2050 c'est valable pour toutes les régions de l'Annexe I). En effet, les régions non-Annexe I ont d'ici 2050 rejoint le schéma de partage des efforts et les régions non-Annexe I à revenu moyen ou haut ont à ce moment des objectifs de réduction d'émissions relativement élevés, diminuant quelque peu la charge de réduction qui pèse sur les pays de l'Annexe I.

En général, en 2050 les différences entre les différents régimes sont petites pour les régions de l'Annexe I (sauf pour le cas de la Proposition Brésilienne), tandis que pour les régions non-Annexe I les différences sont plus importantes.

Analyse de sensibilité

Den Elzen et al. ont également effectué une analyse de sensibilité, testant deux variantes de chaque régime¹⁰³, toujours sous la contrainte de stabilisation à 450 ppmv de CO₂. La conclusion principale des auteurs est que les droits d'émissions régionaux (surtout à court terme : 2025) dépendent presque autant du régime choisi que du choix de ses paramètres (excepté pour l'approche Preference Score). Cela concerne fortement la Proposition Brésilienne, dont l'une des variantes (« sans seuil de participation », comme nous l'avons déjà évoquée page 53) impose nettement moins de réductions d'émissions aux pays de l'Annexe I (surtout l'OCDE) que le cas que nous avons envisagé par défaut. Cette variante du régime leur est donc nettement plus favorable (mais elle impose davantage d'efforts aux pays non-Annexe I qui doivent alors participer immédiatement au régime de réduction de leurs émissions, bien qu'avec des contraintes assez faibles).

Les auteurs ont également testé la sensibilité de leurs résultats à une modification de la contrainte de stabilisation des émissions : 550 ppmv de CO₂ au lieu de 450 ppmv. Pour chaque région, les réductions d'émissions à réaliser sont évidemment plus faibles dans ce cas. Les auteurs observent également des modifications dans la répartition régionale de ces réductions. Sous cette contrainte, les résultats pour l'Annexe I sont nettement plus sensibles au choix du régime de différenciation des engagements, tandis que la plupart des régions non-Annexe I peuvent suivre leurs émissions « business as usual » jusqu'en 2025. En ce qui concerne plus particulièrement la Proposition Brésilienne, il est intéressant de remarquer qu'elle n'est dans ce cas plus aussi défavorable (« extrême ») en termes de réductions d'émissions pour les pays de l'Annexe I (surtout à long terme).

3.2.2. Comparaison des coûts qui découlent des différents régimes

Les questions de coût sont essentielles si l'on veut atteindre un objectif global de réduction d'émissions, étant donné que le critère économique est central dans les choix de participation des pays aux politiques climatiques, et la réalisation effective des objectifs. En effet, les coûts que font peser les actions d'atténuation sur l'économie sont l'objection politique principale à cette participation. C'est par exemple sur cette base que le gouvernement des Etats-Unis a refusé de s'engager dans le Protocole de Kyoto et que la Russie a très longtemps hésité à le ratifier. La Chine, l'Inde et d'autres grands pays en développement sont fermement opposés au fait de s'engager à des objectifs de réductions

¹⁰³ DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, pp.76-80.

quantitatifs parce qu'ils craignent que ceux-ci ne ralentissent leur développement économique¹⁰⁴.

Tout comme nous venons de voir les estimations d'allocations futures de droits démissions d'émissions selon les différentes méthodes de différenciation des engagements, nous allons maintenant présenter une estimation des coûts qui résultent des réductions d'émissions à effectuer selon les différents régimes. Malheureusement, l'article¹⁰⁵ dont nous disposons ne traite pas la totalité des régimes étudiés ici. Mais comme la Proposition brésilienne est le sujet principal de notre étude, il nous paraît intéressant de la comparer aux autres approches pour lesquelles nous avons des données, même incomplètes.

Les trois approches pour lesquelles nous disposons de résultats¹⁰⁶ sont : l'approche *Multi-stage*, l'approche de la *Proposition Brésilienne*, et l'approche *Per Capita Convergence* (ou *Contraction&Convergence*). Les hypothèses de cet article concernant la stabilisation des émissions à 450 ppmv de CO₂ restent les mêmes que celles posées tout au long de l'analyse. Toutefois, nous devons noter certaines différences entre l'application de ces approches pour la comparaison des coûts et la « définition » de référence (point 2.2.2. page 48 à 58) qui fait l'objet de la comparaison générale :

- **Approche *Multi-stage*** : Au lieu de quatre phases, l'article sur lequel nous nous basons dans ce point n'en prend en compte que trois (étape 1 : pas d'engagements, étape 2 : limitation des émissions avec objectifs d'intensité, étape 3 : objectifs de réduction absolus). D'autre part, les seuils pour passer de l'un à l'autre ne sont plus exprimés uniquement en termes de revenu per capita, mais bien à l'aide d'un indice « Capacité-responsabilité ». Cet indice est défini comme la somme des revenus per capita (en PPP€1000 per capita), qui renvoient à la capacité à agir, et des émissions de CO₂- équivalent per capita (en tonnes de CO₂ per capita), qui reflètent la responsabilité dans le changement climatique¹⁰⁷. La valeur de cet indice est fixée à 5 pour passer de l'étape 1 à l'étape 2, et à 12 pour passer de l'étape 2 à la 3. Cette modification par rapport à l'approche *Multi-stage* « de référence » peut avantager légèrement les régions de l'Annexe I, l'Amérique latine, le Moyen-Orient et la Turquie, étant donné qu'un seuil de participation lié aux émissions leurs est plus favorable qu'un seuil de revenu per Capita. Ceci est dû au fait que certains pays non-Annexe I (Asie de l'Est, du Sud-Est et du Sud, et Afrique du Sud) devront alors participer plus tôt au partage des efforts de réduction. Par contre, cette modification ne sera pas à l'avantage des régions les moins développées telles que l'Afrique¹⁰⁸.

¹⁰⁴ WITTEBEN B., HAXELTINE A., KJELLEN B., KÖHLER J., TURNPENNY J. ET WARREN R., *A framework for assessing the political economy of post-2012 global climate regime*, Tyndall centre for Climate Change Research, working paper 80, Manchester, août 2005.

¹⁰⁵ DEN ELZEN M.G.J., LUCAS P., et VAN VUUREN D., "Abatement costs of post-Kyoto climate regimes", *Energy Policy*, vol.33, n°16, 2005, pp. 2138-2151.

¹⁰⁶ Il existe des données chiffrées pour d'autres régimes, mais souvent les choix effectués et les hypothèses posées lors de l'application de ces régimes ne sont pas clairement indiqués par l'auteur, ce qui rend la comparaison avec nos cas de référence difficile.

¹⁰⁷ Étant donné que cet indice composite combine des variables avec des caractéristiques différentes, il devrait en principe être normalisé et/ou pondéré. Il peut arriver, cependant, que la pondération one-to-one combinée avec une normalisation (pour rendre l'indice « sans unité ») produisent des résultats satisfaisants. A n'importe quelle date, l'indice peut être calculé simplement comme la somme du PIB et des émissions totales de gaz à effet de serre, et divisée par la population du pays ou de la région considérée. Les valeurs de l'indice en 2002 varient largement entre les pays, allant de -2 pour l'Afrique de l'Est et de l'Ouest, 4 pour l'Inde, 8 pour la Chine, et jusqu'à 29 pour l'Europe et 25 pour les Etats-Unis. (DEN ELZEN M.G.J., LUCAS P., et VAN VUUREN D., "Abatement costs of post-Kyoto climate regimes", *Energy Policy*, vol.33, n°16, pp. 2138-2151, 2005)

¹⁰⁸ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit., p.48.

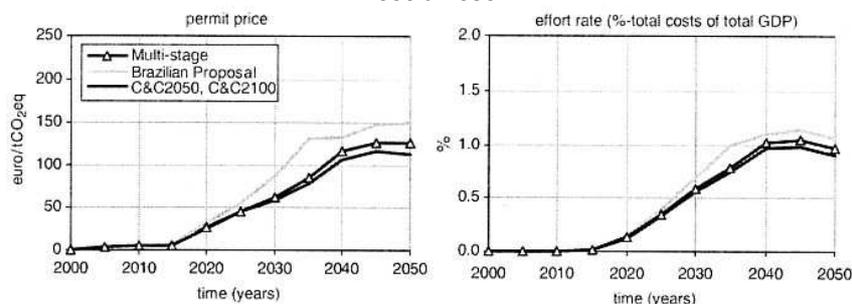
- **Approche de la Proposition Brésilienne** : la seule différence est que le seuil de revenu pour la participation est fixé à 40% du revenu per capita de **1995** des régions de l'Annexe I (PPP\$), au lieu de **1990**.
- **Approche Per Capita Convergence** : le cas de référence prend comme année de convergence 2050, tandis qu'ici on considère deux cas : 2050 ou 2100.

Le modèle utilisé pour l'évaluation des coûts fait partie du modèle FAIR 2.0 évoqué précédemment. Ce modèle fait usage des courbes agrégées d'offre et de demande de permis, dérivées des courbes de coût de réduction marginal (MAC)¹⁰⁹ pour les différentes régions et les différents gaz et sources. Ainsi, le modèle peut déterminer le prix des permis à l'équilibre sur le marché international. Ce prix est utilisé pour déterminer les acheteurs et les vendeurs sur le marché international du carbone, et également les flux financiers découlant des mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto¹¹⁰. Dès lors, les coûts régionaux nets liés aux différents régimes découlent des coûts de réductions domestiques combinés aux coûts ou gains en provenance du commerce d'émissions.

Etant donné les grandes différences dans les revenus des différentes régions, les coûts (ou gains) sont exprimés en pourcentage du PIB¹¹¹ de la région (ce ratio sera par la suite appelé « taux d'effort »).

En ce qui concerne les **coûts globaux** de réduction des émissions, d'après la simulation ils augmentent rapidement dès 2010 pour atteindre un niveau de 0.9 à 1.1% du PIB global en 2040. Par la suite, ils augmentent plus lentement que le PIB total, ce qui donne lieu à une rapide décroissance du taux d'effort. Les coûts globaux des deux régimes de Contraction&Convergence sont généralement plus bas que les régimes de la Proposition Brésilienne et Multi-stage. En effet, avec la Proposition Brésilienne (et dans une moindre mesure l'approche Multi-stage), le prix des permis d'émissions est plus élevé qu'avec l'approche Contraction&Convergence, car ce prix dépend principalement du niveau de participation au marché d'échange des émissions. Avec l'approche Contraction&Convergence, tous les pays participent dès le départ régime de partage des réductions d'émissions (et donc également au commerce des émissions), tandis qu'avec les approches Multi-stage et Proposition Brésilienne, la participation au régime de partage des réductions augmente graduellement, ce qui implique que plusieurs pays non-Annexe I ne peuvent participer au « marché du carbone » que par le biais du Mécanisme pour un Développement Propre. Le prix des permis sera donc plus élevé dans les cas de la Proposition Brésilienne et de l'approche Multi-stage, ce qui augmentera le coût global de réduction (voir graphique ci-dessous).

Prix des permis sur le marché international (à gauche) et coût global de réduction (à droite) de 2000 à 2050



Source : DEN ELZEN M.G.J., LUCAS P., et VAN VUUREN D., "Abatement costs of post-Kyoto climate regimes", *Energy Policy*, vol.33, n°16, 2005, p.2145.

¹⁰⁹ Courbe qui varie selon le pays, et qui reflète le coût additionnel de réduction de la dernière unité de carbone, en fonction du niveau de réduction.

¹¹⁰ Pour plus de détails sur la méthode de calculs: DEN ELZEN, LUCAS, et VAN VUUREN, op.cit., p.2144.

¹¹¹ Le PIB est ici exprimé en termes de PPP.

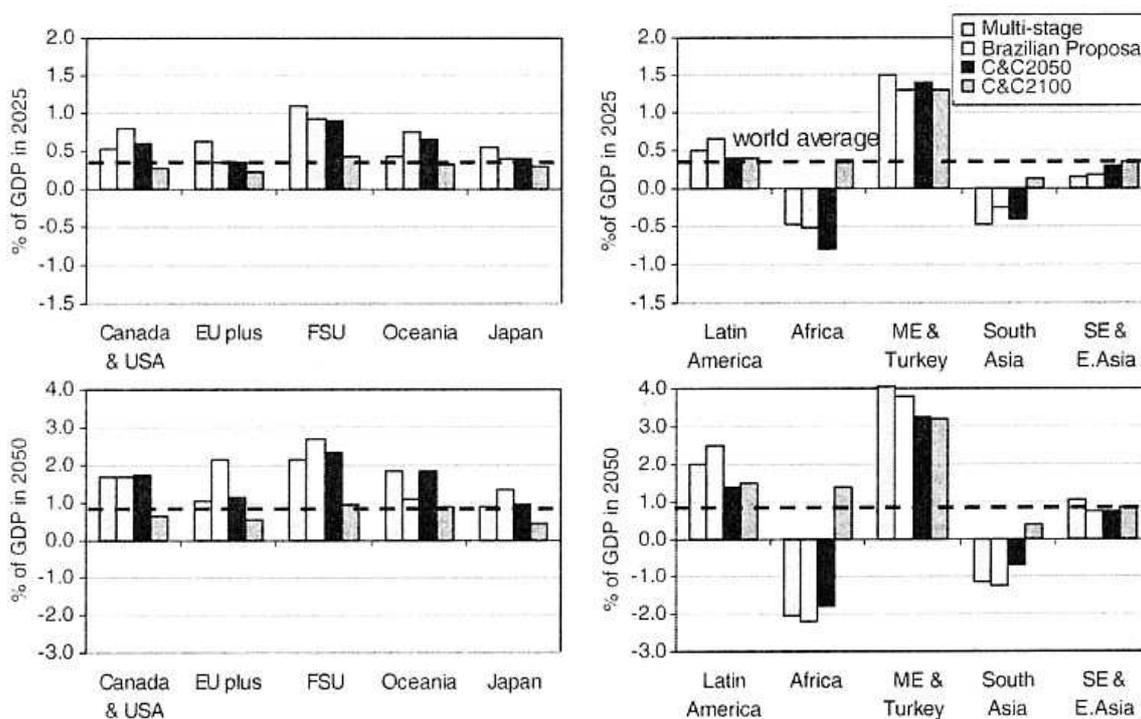
Il est cependant important de noter que les calculs de coûts sont sujets à une incertitude considérable. L'analyse de sensibilité qui envisage des hypothèses différentes sur le coût marginal de réduction, les émissions baseline et les niveaux de concentration pour la stabilisation montrent une fourchette pour les coûts globaux entre 0.2% et 1.5% du PIB mondial en 2050. Les auteurs en concluent que les coûts de réduction globaux sont plus fortement dépendants des scénarios baseline, des estimations de coûts marginaux, et du niveau de stabilisation que des régimes climatiques examinés.

Si l'on veut étendre ces conclusions aux deux approches non comprises dans l'étude dont il est question ici (Preference Score et Jacoby Rule), il semble que l'approche Jacoby Rule puisse, tout comme Multi-stage et la Proposition Brésilienne, mener à des coûts plus élevés que Contraction&Convergence, étant donné le fait qu'il existe un seuil de participation. Par contre, ce n'est pas le cas de l'approche Preference Score, car tous les pays participent dès le départ, ce qui augmente l'efficacité par rapport au coût.

Les **coûts régionaux** de réduction sont, d'après l'analyse de sensibilité, nettement plus dépendants des différents régimes climatiques (surtout pour les régions non-Annexe I à faible revenu), bien que le scénario baseline, les coûts marginaux et le niveau de stabilisation soient toujours d'une importance plus grande.

Les coûts par région en fonction des différentes clés de répartition des efforts de réduction sont présentés ci-dessous.

Coûts régionaux de réduction, exprimés en pourcentage du PIB, en 2025 et 2050



Source : DEN ELZEN M.G.J., LUCAS P., et VAN VUUREN D., "Abatement costs of post-Kyoto climate regimes", *Energy Policy*, vol.33, n°16, 2005, p.2146.

Nous pouvons fortement rapprocher les coûts des objectifs de réduction que nous avons vus précédemment pour ces trois régimes. Par exemple si l'on se penche sur la Proposition Brésilienne, certains groupes régionaux de pays de l'Annexe I pour lesquels cette approche était la moins attractive en termes de réductions sont avec elle également confrontés

à des coûts élevés. Toutefois, lorsque l'on analyse plus systématiquement les taux d'efforts à réaliser par les pays, nous observons qu'ils ne sont pas toujours proportionnels aux réductions qu'ils ont à effectuer. En effet, comme nous l'avons vu le taux d'effort ne dépend pas uniquement du coût des réductions à effectuer, mais également du PIB de la région concernée. Dès lors, il est possible d'identifier quatre groupes de régions ayant des taux d'effort similaires à réaliser (en comparaison avec la moyenne mondiale).

- (1) Les régions avec des revenus et des émissions per capita élevées (toutes les régions de l'Annexe I, sauf l'ex-URSS) : celles-ci font face à des coûts moyens en comparaison des autres régions (1-2% du PIB en 2050)
- (2) Les régions avec des émissions per capita moyennes à élevées, mais des niveaux de revenus moyens à bas (ex-URSS, Moyen-Orient et Turquie, et dans une moindre mesure l'Amérique latine¹¹²) : elles sont confrontées aux coûts les plus élevés (3-4% du PIB, un peu moins pour l'Amérique latine et l'ex-URSS)
- (3) Les régions ayant des niveaux de revenus et des émissions per capita bas à moyens (Asie du Sud-Est et de l'Est) : leurs coûts sont bas à moyens (0.5-1% du PIB)
- (4) Les régions avec des émissions per capita basses et un revenu bas (Afrique et Asie du Sud) : avec tous les régimes (sauf le cas de Contraction&Convergence 2100), ces régions obtiennent des gains nets grâce au commerce des émissions (0.5-2.0% du PIB).

Dans tous les régimes examinés, les régions des deux premiers groupes sont des acheteurs nets sur le marché international des émissions, tandis que les régions des groupes 3 et 4 sont les vendeurs.

Ce classement en quatre groupes de régions nous permet d'examiner quelles approches sont les plus favorables en termes de coûts de réduction, pour chacun des groupes.

Groupe 1 : les approches Multi-stage et Contraction&Convergence (en particulier, Contraction&Convergence 2100) sont les régimes les plus favorables, tandis que l'approche de la Proposition Brésilienne est la moins favorable car elle mène aux coûts les plus élevés.

Groupe 2 : pour le Moyen-Orient et l'ex-URSS tous les régimes semblent peu favorables, puisqu'ils mènent tous à des coûts élevés¹¹³. Pour l'Amérique latine, l'approche de la Proposition Brésilienne est la moins favorable.

Groupe 3 : Contraction&Convergence peut être légèrement moins favorable que les approches avec des seuils de revenu (Multi-stage et Proposition Brésilienne).

Groupe 4 : presque tous les régimes permettent à ces régions de bénéficier du commerce des émissions. Contraction&Convergence 2050 donne les gains les plus élevés, tandis que Contraction&Convergence 2100 est le moins favorable.

Les auteurs concluent que, d'un point de vue des coûts de réduction, les approches Multi-stage et Contraction&Convergence 2050 semblent aboutir à la répartition des coûts la plus égale entre les Parties. Il reste toutefois la question délicate du groupe 2 qui est confronté aux coûts les plus élevés, et pour lequel il faudrait éventuellement prendre en compte les circonstances nationales. D'autre part, les différences de coûts selon les régimes ne sont pas énormes.

Il est difficile d'évaluer les coûts régionaux probables pour les deux approches non comprises dans cette étude (Preference Score et Jacoby Rule). Toutefois, si l'on se réfère aux réductions à réaliser selon ces approches, et qu'on les compare à celles à réaliser selon les trois approches que nous venons d'examiner, il apparaît que l'approche Jacoby Rule se

¹¹² Qui pourrait aussi être placée dans le groupe 3.

¹¹³ En même temps, ces régions peuvent aussi être exposées à des coûts encore plus élevés dus à des pertes de revenus du commerce de l'énergie

comporte d'une façon assez similaire à l'approche Per Capita Convergence (Contraction&Convergence 2050) en termes de réductions d'émissions régionales. D'autre part, étant donné que cette approche détermine les réductions à réaliser en fonction de la capacité à payer, c'est-à-dire du PIB per capita, l'on peut s'attendre à une répartition des « taux d'effort » assez égale entre les régions. Quant à Preference Score, si l'on compare les réductions d'émissions qu'elle impose par rapport aux autres approches, il faut distinguer les résultats obtenus en 2025 de ceux obtenus en 2050. En 2025, l'approche Preference Score est beaucoup plus « extrême » que les autres approches, dans le sens où elle accorde nettement plus de droits d'émissions aux Parties non-Annexe I (sauf Moyen-Orient et Turquie), et nettement moins à l'Annexe I. Dès lors, les coûts seront plus élevés pour l'Annexe I et le Moyen-Orient & la Turquie qu'avec les autres approches. Par contre, en 2025 les réductions à réaliser selon l'approche Preference Score sont du même ordre que celles à réaliser sous les autres approches, ce qui présage des coûts moins « extrêmes ».

3.2.3. Critères d'évaluation des Régimes

Le fait de savoir quel régime donne le plus ou le moins d'allocations/droits d'émissions et conduit aux coûts de réduction les moins élevés pour chaque région ne suffit pas à évaluer les différentes approches. Dans la pratique, les propositions sont évaluées sur base d'autres critères. Une analyse multicritères qualitative permet d'identifier les forces et les faiblesses relatives des approches examinées. Le classement des critères est ici présenté de la même manière que dans l'analyse de den Elzen et al.¹¹⁴. Toutefois, d'autres lectures nous ont permis de compléter leurs commentaires. Les critères analysés sont classés dans les catégories générales de « **critère environnemental** », « **critère économique** », « **critère politique** », et « **critère technique et institutionnel** »¹¹⁵. Les 5 approches examinées sont les mêmes que décrites précédemment. Toutefois, en ce qui concerne la Proposition Brésilienne, nous examinerons pour certains critères les implications du choix des auteurs dans leur définition de cette proposition (avec seuil de participation lié au revenu) par rapport à une définition plus proche de la Proposition Brésilienne originale (tous les paramètres sont les mêmes, mais il n'existe pas de seuil et tous les pays participent dès 2010).

3.2.3.1. Critère environnemental

Selon Den Elzen et al.¹¹⁶, le critère environnemental reprend cinq éléments distincts : *l'efficacité environnementale*, *les incitants à une action précoce des pays en développement*, *la capacité du régime à ajuster la sévérité de ses engagements*, *la promotion du changement technologique*, et enfin *la promotion du développement durable*. Nous détaillerons les trois premiers de ces éléments. Il est important de noter que l'hypothèse posée par les auteurs d'une stabilisation des concentrations de CO₂ à 450 ppmv n'est ici plus valable, et que la comparaison des approches selon le critère environnemental est envisagé d'une manière plus générale.

¹¹⁴ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

¹¹⁵ L'analyse de den Elzen et al. comprend également un critère nommé « critère de politique générale », mais nous avons choisi de ne pas le traiter ici car il comprend des éléments peu clairs et l'analyse de ceux-ci nous semble assez faible, peu fondée.

¹¹⁶ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

Efficacité environnementale

Selon Evans (2002), « l'efficacité environnementale – mesurée en termes de la capacité d'une politique à stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre – est la priorité absolue d'une politique climatique internationale. Les considérations politiques d'équité, d'efficacité et autres doivent être placées en seconde place par rapport à cette priorité : il serait peu pertinent d'appliquer une approche politiquement faisable qui ne convient pas (qui n'est pas de taille) à l'objectif environnemental qui est visé.»¹¹⁷

L'objectif ultime de la Convention est de « stabiliser (...) les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique.»¹¹⁸. Après plus d'une décennie d'études scientifiques et de discussions dans les négociations internationales, il n'existe pas de consensus international sur le niveau de stabilisation qui serait nécessaire pour éviter un telle « perturbation anthropique dangereuse ». Deux difficultés peuvent être relevées¹¹⁹. Tout d'abord, il règne encore une certaine incertitude quant aux réactions du système climatique, ce qui rend difficile la détermination exacte des impacts. Quel niveau de concentration peut alors être considéré « acceptable » ? Nous ne sommes même pas certains que les concentrations de gaz à effet de serre actuelles peuvent être considérées comme « acceptables »¹²⁰. D'autre part, la notion de « perturbation dangereuse » donne inévitablement lieu à des jugements de valeur, ce qui explique que le GIEC n'ait pas recommandé formellement un niveau de concentration acceptable, préférant laisser ces considérations à l'arène politique. De plus, à mesure que de nouvelles informations sont disponibles sur les risques liés aux changements climatiques (et les coûts qui y sont liés), les opinions concernant les niveaux acceptables de concentrations peuvent évoluer.

Quel que soit le niveau de concentration choisi (450 ppmv de CO₂ dans l'étude), pour y parvenir l'approche de différenciation des engagements devra permettre de contrôler efficacement et finalement de réduire les émissions globales de gaz à effet de serre. **Plusieurs facteurs influencent l'efficacité environnementale d'un système**, à savoir¹²¹ : (1) le niveau de participation des principaux émetteurs, (2) le fait que le régime couvre le maximum de gaz et de sources, et (3) la sévérité des engagements adoptés :

(1) Le niveau de participation des principaux émetteurs : Si l'on sait que 25 pays comptent pour 83% des émissions globales et la majorité des émissions projetées¹²² (ces pays comptant également pour 71% de la population globale et 86% du PIB mondial), il semble évident que la participation de ce groupe constitué des plus grandes économies du monde est cruciale pour le succès de toute politique climatique mondiale. La participation de ce groupe revêt en outre une dimension politique : étant donné l'interdépendance économique de ces pays, des contraintes sur les émissions de gaz à effet de serre pourraient créer des déséquilibres concurrentiels si tous ne s'engagent pas dans une action climatique durable. Certains pays risquent alors de se retirer si d'autres choisissent de ne pas participer.

L'un des problèmes qui peut se présenter lorsque des pays sont en dehors du système climatique est la possibilité de « fuite » : dans la mesure où le régime climatique n'est pas mondial, des entités privées peuvent éviter les impacts des engagements en délocalisant une

¹¹⁷ TORVANGER A., TWENA M., VEVATNE J., *Climate policy beyond 2012: a survey of long-term targets and future frameworks*, Center for International Climate and Environmental Research (CICERO), mai 2004.

¹¹⁸ Article 2 de NATIONS UNIES, *Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, 1992.

¹¹⁹ TORVANGER, TWENA, VEVATNE, op.cit.

¹²⁰ PHILBERT C. et PERSHING J., *Evolution of Mitigation Commitments: some key issues*, OCDE et IEA, Paris, 2003.

¹²¹ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

¹²² PEW Center on Global Climate Change, *International Climate Efforts beyond 2012. Report of the Climate Dialogue at Pocantico*, Etats-Unis, novembre 2005.

partie de leurs activités vers un pays qui ne participe pas aux engagements. Par conséquent, des objectifs plus stricts pourraient en réalité s'avérer contre-productifs, non seulement en déplaçant des sources de émissions vers des pays qui n'ont pas d'objectifs, mais également en décourageant certains pays d'adhérer au système car leur participation les rendrait moins compétitifs¹²³. D'autre part, une partie des efforts réalisés dans les pays participants pourrait être compensée par la hausse de la consommation de combustibles fossiles dans d'autres pays, en raison de la baisse des prix internationaux de l'énergie causée par une baisse de la demande dans les pays qui prennent part à la politique climatique¹²⁴.

La participation de la totalité des pays serait un moyen d'éviter ces « fuites » et réduit la probabilité que les efforts d'atténuation des uns soient anéantis par les activités des autres.

(2) Couverture du maximum de gaz et de sources : ce critère est ici pris en compte dans une moindre mesure, et il est intéressant de rappeler que, pour simplifier l'analyse, les résultats quantitatifs montrés plus haut se limitaient aux émissions de CO₂.

(3) Sévérité des engagements adoptés : cet élément est le plus évident en ce qui concerne l'efficacité environnementale. Toutes choses étant égales, les engagements les plus forts aboutissent à des résultats environnementaux plus grands que des engagements plus faibles. Cependant, cette situation « toutes choses étant égales » se produit rarement¹²⁵, et c'est pourquoi nous présentons ci-dessous d'autres facteurs qui influencent l'efficacité environnementale.

Selon Michaelowa et al.¹²⁶, la plus grande difficulté dans l'élaboration d'un régime climatique est de trouver un bon compromis entre la sévérité des engagements et le degré de participation.

Les approches *Per Capita Convergence* et *Preference Score* obtiennent de bons scores pour le critère d'efficacité environnementale, grâce au fait qu'elles sont basées sur des objectifs d'émissions globaux et que tous les pays participent à des limitations d'émissions quantitatives et contraignantes. La *Proposition Brésilienne* et l'approche *Multi-stage* sont également bien cotées sur ce point en raison de leur caractère top-down. Néanmoins, leur score est un tout petit peu moins élevé. En effet, pour permettre que les pays en développement bénéficient d'une période suffisante avant de devoir réduire leurs émissions absolues, la Proposition Brésilienne qui a été envisagée ici a fixé un seuil de revenu relativement élevé pour leur participation, ce qui limite l'efficacité environnementale. Si nous supprimons le seuil de revenu (Proposition Brésilienne « sans seuil »), elle obtient un meilleur score car tous les pays participent dès le début. Dans l'approche Multi-stage le fait que la deuxième étape d'engagement n'engage qu'à des objectifs d'intensité introduit un certain degré d'incertitude à propos de l'efficacité environnementale. Ces deux approches présentent des risques de « fuite » non négligeables. Enfin, l'approche *Jacoby Rule* est la moins bien cotée pour le critère d'efficacité environnementale : ses résultats sont incertains étant donné qu'elle dépend des niveaux de revenu des pays et du taux de réduction des émissions. Le fait que cette approche soit à l'origine bottom-up (bien qu'elle soit ici transformée pour la rendre top-down) est cause de l'incertitude qui y est liée.

¹²³ BODANSKY D., "Climate Commitments: Assessing the Options", in ALDY, J.E., ASHTON J., BARON R., BODANSKY D., CHARNOVITZ S., DIRINGER E., HELLER T.H., PERSHING J., SHUKLA P.R., TUBIANA L., TUDELA F. et WANG X., *Beyond Kyoto : Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, December 2003, pp.37-59.

¹²⁴ TORVANGER, TWENA, VEVAATNE, op.cit.

¹²⁵ BODANSKY, op.cit.

¹²⁶ MICHAELOWA A., TANGEN K. and HASSELKNIPPE H., "Issues and Options for the Post-2012 Climate Architecture – An Overview", *International Environmental Agreements*, 2005, vol.5, pp.5–24.

Incitants à une action précoce des pays en développement

Nous avons vu la nécessité d'engager les principales économies dans la politique climatique, et de faire participer en priorité les pays industrialisés. Cependant, même si les pays de l'Annexe I en venaient à supprimer toutes leurs émissions de gaz à effet de serre, la croissance des émissions provenant du reste du monde serait suffisante pour empêcher une stabilisation des concentrations à quelque niveau que ce soit¹²⁷. La participation des pays en développement est donc essentielle, étant donné que leur part dans les émissions de gaz à effet de serre est en croissance.

Dès lors, l'un des critères environnementaux présentés dans notre étude consiste à voir si les différentes approches fournissent des incitants aux pays en développement pour qu'ils contrôlent leurs émissions, que ce soit par le biais d'engagements quantifiés ou plus simplement par un encouragement à limiter la croissance de leurs émissions avant d'entrer réellement dans un régime climatique.

La *Proposition Brésilienne* fournit une certaine incitation aux pays en développement pour qu'ils entreprennent des actions précoces. En effet, ces efforts peuvent diminuer leur part de responsabilité dans l'augmentation de la température globale, ce qui a pour effet de diminuer les objectifs de réduction qui leur seraient assignés par la suite. Quant aux quatre autres approches, elles n'incitent pas particulièrement à des actions précoces des pays en développement. Avec l'approche *Multi-stage*, il peut être intéressant de postposer des actions jusqu'à la deuxième étape car les objectifs de la deuxième étape sont liés aux niveaux d'intensité en émissions qui existent au moment d'entrer dans la deuxième étape. Cependant, la quatrième phase compense partiellement cette lacune en fournissant des incitants à limiter les émissions per capita. Les approches *Per Capita Convergence* et *Preference Score* incitent à priori les pays en développement à limiter leurs émissions, dans la mesure où ils peuvent ainsi épargner des droits d'émissions qu'ils pourront revendre sur le marché international. Toutefois, dans la pratique les pays qui ont de grands surplus de droits d'émissions (ce qui peut se produire surtout dans le cas de *Preference Score*) vont probablement réaliser peu d'actions réelles. Quant à l'approche *Jacoby Rule*, elle ne fournit aucun incitant particulier puisque les seuils de participation et les efforts à fournir sont liés au revenu per capita et non aux niveaux d'émissions.

Capacité du régime à ajuster la sévérité des engagements

Etant donné qu'il reste de nombreuses lacunes dans la connaissance du système climatique, de nouvelles notions ou un changement dans l'évaluation et la valorisation des risques pourraient entraîner une volonté d'ajuster les politiques climatiques, en vue par exemple de désigner des objectifs plus stricts. Il serait donc souhaitable que l'approche choisie soit capable de s'ajuster à des objectifs plus stricts.

Les régimes *Preference Score* et *Per Capita Convergence* peuvent être facilement ajustés. Les *trois autres approches* peuvent également être ajustées à des objectifs plus sévères en modifiant la sévérité des engagements au sein de la (ou les) phase(s) d'engagement. Par contre, un traitement inégal des pays serait perçu si les seuils étaient modifiés.

Le tableau ci-dessous résume les appréciations données pour le critère environnemental. Notons que ce tableau inclut deux dimensions supplémentaires du critère

¹²⁷ PHILBERT et PERSHING, op.cit.

environnemental, que nous avons choisi de ne pas développer : *Promotion du changement technologique* et *Promotion du développement durable*.

	Proposition Brésilienne avec seuil	Proposition brésilienne sans seuil	Multi-stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Critère environnemental	+	+ / ++	+	+ / ++	+ / ++	0
Efficacité environnementale	+ / 0	++	+	++	++	0
Incitants aux pays en développement	0 / +	0 / +	- / +	-	-	-
Capacité d'ajustement	0	0	0 / +	0	+	+
Promotion du changement technologique	-	0	0	0	0	-
Promotion du développement durable	0	0	0	0 / +	0 / +	0

Légende : ++ : entièrement satisfait ; + : généralement satisfait ; 0 : partiellement satisfait ; - : faiblement satisfait ; -- : pas satisfait du tout

Source : adapté de DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.95.

3.2.3.2. Critère économique

Bien que nous ayons déjà présenté une approche quantitative des coûts de réduction pour certaines approches¹²⁸, il peut être utile de la compléter par une évaluation qualitative plus générale. Den Elzen et al. ont choisi plusieurs dimensions pour évaluer le critère économique : le rapport *coût-efficacité*, la *certitude à propos des coûts*, la *prise en compte des différences dans les contextes nationaux*, et enfin le fait d'*éviter des disproportions dans les charges*. Nous allons passer en revue les trois premiers.

Coût-efficacité

Il s'agit d'atteindre un objectif environnemental déterminé au moindre coût global. En termes économiques, cela revient à égaliser les coûts de réduction marginaux, aussi bien entre les pays qu'au sein de chaque pays¹²⁹. Or, les potentiels de réduction de gaz à effet de serre varient fortement d'un pays à l'autre, ainsi que les coûts qui y sont associés. L'efficacité par rapport au coût n'est pas uniquement importante à court terme, mais également à long terme puisqu'elle peut influencer l'efficacité environnementale (adoption d'objectifs de réduction moins sévères si les pertes économiques sont trop élevées). (Cependant, comme nous l'avons vu plus haut il faut faire la distinction entre les coûts globaux et les coûts régionaux, ces derniers étant les plus déterminants pour qu'un pays ratifie un accord ou non). Les coûts et les potentiels de réduction de gaz à effet de serre diffèrent largement entre les pays. L'efficacité par rapport au coût est déterminée également par la flexibilité offerte aux pays quant à la manière de satisfaire leurs engagements. Les mécanismes de flexibilité introduits par le Protocole de Kyoto ont été créés dans le but d'offrir cette flexibilité : le commerce international des émissions, le Mécanisme pour un Développement Propre et l'Application Conjointe permettent aux pays qui le désirent d'effectuer des réductions d'émissions en

¹²⁸ Voir point 3.2.2 page 69.

¹²⁹ TORVANGER, TWENA, VEVAATNE, op.cit.

dehors de frontières de leur territoire, si ces réductions sont moins coûteuses à l'étranger. Ces mécanismes (en supposant qu'ils seront encore appliqués pour la deuxième période d'engagement) permettent donc de minimiser le coût global des réductions, quelle que soit la répartition des droits d'émissions entre les pays.

Dès lors, en théorie le schéma de répartition des efforts ne devrait avoir aucun impact sur le coût global de réduction, mais uniquement sur les coûts pour les différentes régions. Cependant, ceci n'est pas valable étant donné que des coûts de transaction sont liés à ces mécanismes. Dès lors, lorsque l'on évalue les différentes règles de partage de la charge il faut prendre en compte le volume des versements (à titre compensatoire ou comme contrepartie de l'achat de permis). Un régime qui donne lieu à des flux monétaires importants entre les pays est susceptible de se révéler globalement plus coûteux en raison de coûts de transaction¹³⁰. D'autre part, le commerce des émissions est plus accessible que le Mécanisme pour un Développement Propre et l'Application Conjointe, et entraîne en général de plus faibles coûts de transaction. Dès lors, **un meilleur rapport coût-efficacité sera obtenu pour les différentes régions avec un régime où la plupart des pays ont accès au commerce des émissions**¹³¹. Il est largement reconnu que le commerce des émissions figure parmi les moyens les plus efficaces de minimiser le coût agrégé des réductions de gaz à effet de serre.

Les approches de la *Proposition Brésilienne*, *Multi-stage* et *Jacoby Rule* appliquées à l'échelle globale permettent de limiter le coût global si elles sont combinées aux mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto. Cependant, en raison des seuils de participation, beaucoup de pays en développement ne pourront au début prendre part qu'au Mécanisme pour un Développement Propre, et non au commerce des émissions. Dès lors, le rapport coût-efficacité n'est pas optimal. Quant à *Per Capita Convergence* et *Preference Score*, elles présentent l'avantage de faire participer immédiatement toutes les régions, ce qui accroît l'efficacité par rapport au coût. Si l'on considère la *Proposition Brésilienne* « sans seuil », elle est également bien cotée sur ce critère car elle permet à de nombreux pays de participer directement au commerce des émissions, ce qui limite les coûts de transaction.

Certitude dans les coûts

Outre le fait d'éviter le risque de coût très élevé, une réduction de l'incertitude à propos des coûts permet d'éviter que des pays ne remplissent pas leurs engagements à cause d'un coût réel dépassant largement le coût prévu, ce qui diminuerait fortement la crédibilité de la politique climatique¹³². De plus, une certitude élevée dans les coûts peut inciter à des engagements plus forts de la part de certaines Parties, et à une participation plus large des pays non-Annexe I qui ont peur d'entraver leur développement économique si leurs objectifs s'avèrent trop coûteux. Les entreprises sont les premières demandeuses de certitude, car celle-ci facilite leurs stratégies d'investissements, leur permettant d'ajuster leur comportement au cours du temps pour limiter les coûts des politiques d'atténuation du changement climatique.

La *Proposition Brésilienne*, *Per Capita Convergence* et *Preference Score* donnent lieu à des fortes incertitudes concernant les coûts de réduction. Les approches *Multi-stage* et *Jacoby Rule* limitent quelque peu l'incertitude liée aux coûts, étant donné le type d'engagement que ces approches proposent. En effet, dans le cas de l'approche *Jacoby Rule*

¹³⁰ BURNIAUX J-M., « Efficacité et équité dans le contrôle à long terme de l'effet de serre », *Economie internationale, la revue du CEPH*, n°82, 2^{ème} trimestre 2000.

¹³¹ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

¹³² ALDY J.E., BARON R. et TUBIANA L., "Addressing Cost: The Political Economy of Climate Change", in ALDY, J.E., ASHTON J., BARON R., BODANSKY D., CHARNOVITZ S., DIRINGER E., HELLER T.H., PERSHING J., SHUKLA P.R., TUBIANA L., TUDELA F. et WANG X., *Beyond Kyoto : Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, december 2003.

les réductions d'émissions sont fonction de la capacité à payer du pays, et donc le taux d'effort en termes de coûts de réduction par rapport au PIB sera assez constant. En ce qui concerne l'approche Multi-stage, la deuxième étape propose des objectifs en termes d'intensité énergétique, pour lesquels les coûts devraient être plus prévisibles que dans le cas de réductions absolues d'émissions, selon les auteurs.

Prise en compte des contextes nationaux différents

Il peut être souhaitable qu'un régime prenne en compte les différences structurelles entre les pays¹³³, liées notamment à la situation géographique, la dotation en ressources (telles que l'énergie), et la structure économique. Si ces différences ne sont pas prises en compte, le régime peut être considéré injuste et politiquement inacceptable¹³⁴.

Aucune des approches de la *Proposition Brésilienne*, *Per Capita Convergence*, *Preference Score* et *Jacoby Rule* ne prend en compte les différences structurelles des différents pays. Seule l'approche *Multi-stage* s'en soucie partiellement, dans la mesure où elle prend en compte les différences entre les pays qui sont à des niveaux de développement différents, et dans une moindre mesure les différences structurelles entre les pays qui sont à des niveaux de développement similaire (seulement lors de l'étape où les engagements sont des objectifs d'intensité).

	Proposition Brésilienne avec seuil	Proposition brésilienne sans seuil	Multi-stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Critère économique	--	-	0	-	--	0
Coût-efficacité	0	++/+	+	++/+	++/+	+
Certitude dans les coûts	--	--	0	--	--	0
Prise en compte des contextes nationaux	--	--	0	--	--	--
Eviter les charges extrêmes	--	-	0	-	--	0

Légende : ++ : entièrement satisfait ; + : généralement satisfait ; 0 : partiellement satisfait ; - : faiblement satisfait ; -- : pas satisfait du tout

Source : adapté de DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.95.

3.2.3.3. Critère politique

Différents aspects qui influencent directement l'acceptabilité politique peuvent être identifiés : les *principes d'équité* sur lesquels se basent les différentes approches, l'*acceptabilité pour les pays-clé*, le fait que le régime *favorise la confiance entre les différents pays*, et l'*espace laissé aux négociations*. Trois de ces quatre critères sont développés ci-dessous.

¹³³ TORVANGER, TWENA, VEVATNE, op.cit.

¹³⁴ DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

Principes d'équité

Les changements climatiques constituent un problème global dont les causes et les conséquences ne sont pas réparties uniformément sur le globe. L'augmentation de la température provient majoritairement des pays développés, tandis que les conséquences risquent de s'abattre proportionnellement plus sur les pays en développement que sur les pays industrialisés. D'autre part, toutes les régions ne disposent pas des mêmes capacités de réduction des émissions. Enfin, tous les pays n'ont pas le même pouvoir d'influence dans les négociations internationales, et l'équité est une notion subjective qu'il est difficile de séparer des intérêts nationaux. Etant donné ces différences fondamentales dans les situations nationales, il n'est pas aisé de déterminer quel régime de différenciation des engagements est susceptible de satisfaire au mieux le critère d'équité, bien que ce soit l'un des soucis principaux d'un grand nombre de pays.

Durant les négociations qui ont précédé l'adoption du Protocole de Kyoto, l'équité n'était pas une des préoccupations majeures, selon certains¹³⁵. Etant donné que cet accord n'est contraignant que pour les pays industrialisés, une forme de « grandfathering » a été considérée comme « juste ». Cependant, étant donné que les négociations futures cherchent à engager également les pays en développement, le critère d'équité revêt à présent une importance majeure. Il risque d'être déterminant pour l'acceptabilité d'un régime de partage des efforts de réduction qui serait susceptible d'être ratifié. Nous nous attarderons dès lors un tout petit plus longuement sur le critère d'équité que sur les autres critères politiques.

Il n'existe aucun accord sur une définition de l'équité. On peut trouver dans la littérature de nombreux **principes d'équité**, qui renvoient à des notions plus générales de « justice distributive ». Parmi ceux-ci, certains portent des noms différents mais se ressemblent, d'autres sont peu utilisés. Dès lors, plutôt que de présenter une liste exhaustive de ces principes, Ringius et al.¹³⁶ ont essayé d'en identifier un petit nombre qui sont souvent évoqués dans les négociations internationales car ils sont assez généralement reconnus, et à partir desquels des formules de répartition des efforts peuvent être dérivées, notamment dans le contexte précis des changements climatiques.

Sur base de plusieurs documents d'auteurs différents¹³⁷, nous avons repris certains de ces principes généraux d'équité qui sont souvent évoqués dans les négociations internationales concernant l'environnement, et plus particulièrement le climat.

¹³⁵ MÜLLER B., *Justice in Global Warming Negotiations – How to obtain a procedurally fair compromise*, Oxford Institute for Energy Studies, Octobre 1999.

¹³⁶ RINGIUS, L., TORVANGER A. et UNDERDAL A., “Burden sharing and fairness principles in international climate policy”, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, vol.2, n°1, pp.1-22, Pays-Bas, 2002.

¹³⁷ RINGIUS, L., FREDERIKSEN, P. & BIRR-PEDERSEN, K., *Burden Sharing in the Context of Global Climate Change. A North-South Perspective*, National Environmental Research Institute – Ministry of the Environment, Technical Report No. 424, Danemark, 2002.

RINGIUS, TORVANGER et UNDERDAL, op.cit.

TORVANGER, TWENA, VEVAATNE, op.cit.

DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

Principes de justice distributive sélectionnés (et clés de répartition qui y sont liées) invoqués dans les négociations internationales sur le climat

<u>Principe de justice</u>	<u>Explication</u>	<u>Exemple de clé de répartition qui peut être dérivée de ce principe</u>
Egalitarisme/ Besoin	Tous les individus (nations) disposent d'un droit égal à polluer et à être protégés de la pollution. Selon le principe du « besoin », les individus ont des droits égaux à la satisfaction de leurs besoins de base et il faut accorder la priorité ces besoins de base.	Permettre ou réduire les émissions proportionnellement à la population des pays.
Souveraineté/ droits acquis	Tous les pays ont un droit égal à polluer et à être protégés de la pollution ; les émissions actuelles constituent un droit au status quo.	Permettre ou réduire les émissions dans tous les pays de façon proportionnelle, ce qui revient à maintenir les niveaux d'émissions relatifs entre eux.
Équité verticale/ capacité à payer	Plus la capacité à agir ou à payer est grande, plus la part dans l'atténuation du changement climatique (ou la charge économique) doit être élevée.	Le coût net de réduction est directement corrélé au PIB per capita
Pollueur-payeur/ responsabilité	Les pays dont la responsabilité dans le changement climatique est la plus grande ont les efforts de réduction (ou les charges économiques) les plus élevés.	Partager les coûts de réduction entre les pays proportionnellement à leurs niveaux d'émissions (actuelles ou historiques)

Parmi ces critères, certains sont basés sur des « droits » et d'autres sur des « devoirs » : la responsabilité et la capacité entraînent un devoir de contribuer aux efforts d'atténuation, tandis que les principes de besoin et de souveraineté instaurent un droit d'émettre.

L'acceptabilité d'un accord entre les Parties est fortement dépendante de l'équité perçue¹³⁸. La conception d'un système qui garantit que l'effort international de réduction des émissions gaz à effet de serre est réparti équitablement entre les Parties est sans doute l'un des défis les plus importants auxquels sont confrontés les négociateurs dans le domaine des changements climatiques, en raison du fait qu'il y a différentes manières de juger si un certain accord est équitable ou non¹³⁹. Le fait que certains principes soient assez largement reconnus ne signifie pas qu'il existe un consensus international quand à une hiérarchie de ces principes, ou quand à une formule de répartition des efforts de réduction d'émissions qui serait considérée comme la plus « équitable ». Il s'agit uniquement d'un cadre souple qui peut servir de référence pour évaluer certaines propositions. Ce cadre propose des arguments « légitimes » qui peuvent servir de base aux négociations.

Il est facile de trouver des références à l'équité dans la Convention Cadre des Nations Unies. Par exemple, l'article 3.1 soutient explicitement les principes de responsabilité et de capacité. Implicitement, la Convention soutient également le principe de besoin : il ne faut pas entraver le développement économique des pays les moins développés, car ils doivent être en mesure de satisfaire les besoins de base de leur population. Cependant, aucun critère n'est désigné comme « prioritaire » par rapport aux autres. Il n'existe donc pas de hiérarchie reconnue parmi ces principes, bien que Ringius et al.¹⁴⁰ pensent que les éléments les plus pertinents pour qu'une approche soit largement acceptée dans les négociations internationales sont, par ordre d'importance décroissant : (1) le principe des besoins de base, (2) le principe de capacité, et enfin (3) la responsabilité.

¹³⁸ MÜLLER, op.cit.

¹³⁹ STOREY M., *Kyoto and Beyond, Issues and options in the global response to climate change*, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, 2002.

¹⁴⁰ RINGIUS, FREDERIKSEN et BIRR-PEDERSEN, op.cit.

Une **règle spécifique de partage des efforts de réduction** (burden-sharing rule) applique en général un ou plusieurs principes d'équité. Il s'agit donc d'évaluer les régimes de différenciation des engagements sur base de ces critères. Selon Ringius et al.¹⁴¹ et Den Elzen et al., il serait intéressant qu'une future approche pour la répartition des réductions d'émissions comprenne plusieurs de ces principes d'équité, au lieu de se centrer sur un seul.

	Proposition Brésilienne	Multi-stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Egalitarisme/ besoin		X	X	X	
Souveraineté/ droits acquis			X	X	
Equité verticale/ Capacité à payer	(X)	X	(X)		X
Pollueur-payeur/ responsabilité	X	X			

X = applicable, (X) = partiellement applicable

Source: adapté de DEN ELZEN M.G.J., BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas.

Remarque : l'approche Preference Score vise principalement une **Justice Procédurale**, et non une Justice basée sur le critère d'allocation.

Il semble d'après ce tableau que l'approche *Multi-stage* soit celle qui couvre le plus de principes d'équité, tandis que la *Proposition Brésilienne* et *Jacoby Rule* se basent principalement sur un seul critère.

Acceptabilité pour les pays-clé

En dehors de ces principes généraux d'équité, il faut également prendre en compte le fait qu'un régime de différenciation des engagements n'a des chances d'être accepté que s'il n'entre pas en conflit avec les positions certains pays-clé, en raison des rapports de forces qui existent dans les négociations. Il est crucial que le régime proposé soit accepté par les pays ayant les niveaux d'émissions les plus élevés, incluant les Etats-Unis, l'ex-URSS, l'Union Européenne, la Chine et l'Inde. Or, de ce côté il reste du chemin à parcourir, étant donné les divisions politiques existantes entre les pays développés et les pays en développement.

Selon den Elzen et al., la *Proposition Brésilienne* sera peu acceptable pour des pays-clé de l'Annexe I (tels que l'Europe), car ceux-ci auront sous ce régime des réductions d'émissions plus fortes qu'avec les autres régimes, surtout dans la version « sans seuil »

Quant à l'approche *Multi-stage*, les objectifs d'intensité semblent attirants pour les pays en développement et les Etats-Unis. Cependant, les Etats-Unis peuvent également ne pas apprécier le fait que cette approche soit top-down et impose des objectifs de réductions fixés pour les pays industrialisés. Le fait que la clé de répartition soit basée sur les émissions per capita rencontrera également une certaine opposition de leur part, et également de la part de l'ex-URSS pour qui une allocation basée sur le revenu per capita serait plus favorable. Dans l'ensemble, l'approche Multi-stage ne devrait toutefois pas rencontrer d'objection majeure sur le principe.

L'approche *Per Capita Convergence* est supportée par certains pays européens, et également certains pays en développement (tels que l'Afrique). Cependant, il est probable qu'une certaine résistance par rapport à cette approche émane des pays ayant des hautes émissions per capita, tels que les Etats-Unis, l'Océanie, le Moyen-Orient et la Turquie, ainsi que la Chine. Ces pays craignent que la répartition des droits d'émissions entraîne de large

¹⁴¹ RINGIUS, TORVANGER et UNDERDAL, op.cit.

surplus pour les pays en développement, ce qui donnerait lieu à de large flux financiers en provenance des pays ayant les plus hautes émissions per capita.

Preference Score est l'une des approches qui ont le moins de chances d'être acceptée politiquement par les pays-clé de l'Annexe I, en raison des allocations « extrêmes » qu'elle implique pour eux. Les pays en développement sont plus susceptibles d'y adhérer. Economiquement, cette approche donnera lieu à de larges transferts financiers. D'autre part, la procédure de vote dont les résultats sont pondérés par la population de chaque pays n'est pas commune en politique internationale, et risque de rencontrer une certaine opposition.

Selon den Elzen et al., l'approche *Jacoby Rule* peut être bien acceptée par les pays-clé, parce qu'elle ne pénalise pas les pays ayant des émissions per capita (relativement) hautes (Etats-Unis, ex-URSS), tout en préservant les pays plus pauvres tels que l'Inde. Cette approche est toute fois défavorable à l'Amérique latine et à la Chine.

Espace pour les négociations

Tout en fournissant une structure claire comme cadre de négociations, il est souhaitable qu'une approche particulière soit assez flexible pour laisser une certaine place aux négociations dans la recherche d'un compromis.

La seule approche qui fournit vraiment cet espace pour les négociations est l'approche Multi-stage, d'après les auteurs, car ses paramètres sont à la fois suffisamment compréhensibles et concrets (ce qui n'est pas le cas de *Jacoby Rule* et de la Proposition Brésilienne), et offrent des possibilités de compromis sur les différents seuils, les types et les niveaux d'engagement.

	Proposition Brésilienne avec seuil	Proposition brésilienne sans seuil	Multi-stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Critère politique	-	-	+ / ++	0	-	0
Principes d'équité	0	0/-	++	+	+	0
Acceptabilité pour les pays-clé	-	-	0/+	-	--	0
Apport de confiance entre les pays	+	+	+	++	++	+
Espace pour les négociations	--	--	++	--	--	-

Légende : ++: entièrement satisfait ; + : généralement satisfait ; 0 : partiellement satisfait ; - : faiblement satisfait ; -- : pas satisfait du tout

Source : adapté de DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.95.

3.2.3.4. Critère technique et institutionnel

Nous allons aborder les critères qui concernent les exigences techniques et institutionnelles des régimes, en lien avec le processus de négociation, la mise en pratique et le contrôle des engagements. Parmi ces critères, den Elzen et al. distinguent la *compatibilité avec le Protocole de Kyoto et la Convention des Nations unies*, la *simplicité du processus de négociation*, et la *facilité d'exécution*.

Compatibilité avec le Protocole de Kyoto et la Convention

La Convention et le Protocole de Kyoto contiennent de nombreux éléments d'institutions et de mécanismes qu'il a fallu de nombreuses années et beaucoup de négociations pour développer. D'un point de vue légal, et en raison de l'importance de la continuité dans les processus de décision, il est souhaitable d'avoir un régime qui ne demande pas de révisions majeures de la Convention et/ou du Protocole de Kyoto.

La *Proposition Brésilienne* et les approches *Multi-stage* et *Jacoby Rule* semblent les plus compatibles avec le Protocole de Kyoto. Par contre, l'approche *Per Capita Convergence* s'écarte assez de l'approche du Protocole de Kyoto, mais n'est pas incompatible avec celui-ci, ni avec la Convention. Quant à *Preference Score*, il semble que cette approche soit incompatible tant avec le Protocole qu'avec la Convention, étant donné qu'elle impose une révision majeure de la structure de prise de décision (qui est actuellement basée sur le consensus et le fait qu'un pays obtient un vote, indépendamment de la taille de sa population).

Simplicité du processus de négociation

Les régimes qui sont de nature complexe, que ce soit par leur concept, les calculs complexes qui y sont liés, les exigences d'information ou leur grand nombre de variables politiques, compliquent les négociations internationales. En effet, il est alors plus difficile pour les Parties d'évaluer les implications de ces régimes (surtout dans les pays en développement qui disposent de moins de capacité scientifique et analytique, et de moins de personnel lors des négociations), ce qui donne lieu à des processus de négociation longs et complexes. Ces régimes sont également plus difficiles à communiquer aux décideurs.

L'approche *Per Capita Convergence* est celle qui propose le concept le plus simple, et donne lieu au processus de négociation le plus simple en raison du nombre limité de paramètres sur lesquels il faut se mettre d'accord. En dehors de la détermination d'un objectif d'émissions global, l'approche *Preference Score* exige un accord sur la procédure de vote, ce qui ne devrait pas être trop compliqué si l'idée de base sur laquelle repose cette approche est acceptée. Quant aux trois autres approches, les négociations risquent d'être plus complexes. La *Proposition Brésilienne* est techniquement complexe comme nous l'avons vu, étant donné le nombre de choix méthodologiques à effectuer pour la détermination des responsabilités historiques relatives. Cela ne pose aucun problème insurmontable, mais complique fortement le processus de négociation. Les paramètres utilisés dans l'approche *Jacoby Rule* pour définir les efforts de réduction sont abstraits et peu transparents, ce qui risque d'entraver le processus de négociations. Pour l'approche *Multi-stage*, il faut non seulement définir les seuils de participation pour les différentes étapes, mais également les engagements au sein de celles-ci. D'autre part, le fait d'introduire des objectifs d'intensité risque de compliquer le processus de négociations car il s'agit d'un type d'engagement nouveau, et que son introduction a des implications pour le commerce des émissions.

Facilité d'exécution

Il est nécessaire qu'une approche soit facile à exécuter, contrôler et faire respecter. Des problèmes peuvent survenir pour des approches qui imposent des exigences techniques et institutionnelles (pour le contrôle et le respect des engagements), surtout dans les pays les moins développés. Il sera également difficile d'impliquer ces pays dans le commerce international des émissions, en raison d'un manque de données fiables et de leur aptitude à vérifier et faire respecter les conditions requises.

	Proposition Brésilienne avec seuil	Proposition brésilienne sans seuil	Multi-stage	Per Capita Convergence	Preference Score	Jacoby Rule
Critère technique et institutionnel	0	0/-	+	0	--	0
Compatibilité avec le Protocole et la Convention	+	+	++	0	--	+
Simplicité du processus de négociations	-	-	0	++	+	-
Facilité d'exécution	0	-	0/-	--	--	0

Légende : ++: entièrement satisfait ; + : généralement satisfait ; 0 : partiellement satisfait ; - : faiblement satisfait ; -- : pas satisfait du tout

Source : adapté de DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas, p.95.

3.2.4. Forces et faiblesses des différentes approches

Proposition Brésilienne

La Proposition Brésilienne n'obtient de résultats particulièrement bons sur aucun critère général, et certaines de ses appréciations sont parmi les pires par rapport aux autres approches.

Selon den Elzen et al., les seules forces de la Proposition Brésilienne sont le fait qu'elle soit originaire d'un pays en développement (contrairement à la majorité des régimes alternatifs qui sont proposés par des pays industrialisés), et le fait qu'elle soit officiellement considérée dans le cadre de la Convention. Toutefois, elle est également une des seules approches à inciter les pays en développement à des actions précoces. De plus, en ce qui concerne le critère environnemental, il faut faire la distinction entre la Proposition Brésilienne telle qu'elle est envisagée par den Elzen dans son étude (avec seuil de participation des pays en développement lié au revenu) et une variante plus proche de la Proposition originale (sans seuil de participation) : l'efficacité environnementale obtient une bien meilleure note dans le deuxième cas. Or, den Elzen n'en tient pas compte dans sa comparaison, et sous-évalue ainsi la Proposition Brésilienne dans son ensemble. Il en est de même pour le critère économique : le rapport coût-efficacité de la variante la plus proche de la Proposition originale est nettement meilleur que celui de la version adaptée par den Elzen et al.

Parmi les faiblesses, notons que ce régime ne repose que sur un seul critère d'équité (la responsabilité) et que l'approche est relativement complexe, comme nous l'avons déjà

évoqué dans la deuxième partie de ce mémoire à propos des choix scientifiques et méthodologiques. De plus, en ce qui concerne la Proposition Brésilienne telle que faite par den Elzen et al., les résultats sont assez « extrêmes » en ce qui concerne les réductions d'émissions à réaliser (et donc les coûts) : c'est l'un des régimes les moins favorables pour les pays de l'Annexe I, pouvant mener jusqu'à des droits d'émissions négatifs (lorsque l'objectif de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre est strict, comme nous l'avons envisagé ici). Toutefois, si l'on considère la variante « sans seuil de participation », les efforts de réductions sont nettement moins extrêmes pour les pays de l'Annexe I (par contre, cela impose davantage d'efforts aux pays non-Annexe I).

Multi-stage

L'approche Multi-stage obtient des scores assez bons pour les critères environnemental, politique, économique et technique&institutionnel.

Ses forces principales se situent au niveau du critère politique. En effet, nous avons vu qu'elle repose sur plusieurs principes d'équité, et que son concept offre une structure assez flexible, laissant un grand espace pour les négociations. Sur le plan économique, elle devrait aboutir à une répartition assez égale des coûts entre les Parties, surtout si les seuils de participation sont définis en fonction des émissions per capita ou d'un indice combinant les émissions per capita et le revenu per capita (qui permet d'éviter que les pays de l'Annexe I ne soient confrontés à de trop fortes réductions d'émissions). D'autre part, cette approche est aisément compatible avec le régime actuel (Convention + Protocole de Kyoto).

En comparaison avec les autres approches, nous ne pouvons pas identifier un critère sur lequel elle est vraiment très faible. Néanmoins, une faiblesse majeure est liée à l'utilisation d'objectifs d'intensité (lors de la deuxième étape, avec la définition de l'approche qui a été étudiée ici). En effet, ceux-ci diminuent la certitude quant à l'efficacité environnementale, et entraînent des complications pour l'exécution de ce régime.

Per Capita Convergence

Le critère environnemental est très bien satisfait par cette approche, tandis que les autres critères le sont moins.

La force principale de ce régime est la certitude relativement élevée qu'il offre quant à l'efficacité environnementale. La certitude qui existe quant à la participation des pays en développement permet d'obtenir un bon rapport coût-efficacité pour les mesures de réduction (grâce à la participation large au commerce des émissions). La répartition des coûts entre les Parties est assez égale. De plus, la clarté du concept est un atout dans le processus de négociations.

Du côté des faiblesses, cette approche risque de rencontrer des objections politiques en provenance de certains pays-clé. On peut notamment lui reprocher de ne pas prendre en compte les différences dans les contextes nationaux. La participation immédiate des pays en développement risque également de poser des problèmes pratiques d'exécution (les exigences institutionnelles sont susceptibles de ne pas être satisfaites dans tous ces pays) .

Preference Score

L'approche Preference Score satisfait amplement au critère environnemental. Cependant, ses résultats pour tous les autres critères sont très mauvais.

Ses forces sont les mêmes que celles de l'approche Per Capita Convergence : efficacité environnementale et coût-efficacité.

En ce qui concerne ses faiblesses, elles sont similaires à celles de Per Capita Convergence, mais de façon plus poussée. De plus, cette approche entraîne une redistribution initiale des droits d'émissions entre les pays assez extrême, entraînant au départ des coûts

élevés pour les pays ayant des émissions per capita assez élevées (Annexe I et pays en développement à revenus moyens), rendant son acceptation peu probable. Sa faiblesse principale est toutefois le fait que cette approche ne semble pas compatible avec la structure mise en place par la Convention Cadre des Nations Unies.

Jacoby Rule

Cette approche obtient des scores moyens pour tous les critères.

Elle ne semble avoir aucune force particulière, mise à part le fait qu'elle distribue les efforts d'atténuation (et les coûts) de façon assez égale entre les Parties.

Parmi ses faiblesses, notons le fait qu'elle ne repose que sur un seul principe d'équité (tout comme dans le cas de la Proposition Brésilienne), et surtout le fait que les paramètres de calcul pour les efforts de réduction liés à ce régime sont abstraits, ce qui complique les négociations.

3.2.5. Adaptations possibles pour rendre la Proposition Brésilienne plus acceptable

La Proposition Brésilienne telle qu'elle est définie par den Elzen et al. pour son exercice de comparaison constitue une modification majeure de la Proposition Brésilienne originale, qui vise à laisser aux pays en développement une période transitoire sans engagements, mais produit des résultats assez « extrêmes » pour certaines Parties de l'Annexe I, en tout cas plus « extrêmes » que ceux qui seraient obtenus selon une clé de répartition des efforts de réduction plus conforme à la Proposition Brésilienne originale (sans seuil de participation).

Plusieurs auteurs ont également envisagé des adaptations de la Proposition Brésilienne originale, modifiant les choix méthodologiques par défaut de l'exercice de comparaison tel que nous l'avons présenté dans la deuxième partie de ce mémoire (voir tableau page 20). L'une de ces adaptations¹⁴² joue simultanément sur les choix de l'indicateur et de la date de début d'attribution, proposant d'attribuer les responsabilités historiques relatives sur base des émissions cumulées (au lieu de l'augmentation de la température) à partir de 1990 (au lieu de 1890).

Selon ces auteurs, la Proposition Brésilienne pourrait ainsi être rendue plus acceptable pour de nombreuses Parties, et constituer un bon compromis. Les avantages cités sont :

- Les résultats obtenus défavoriseraient ainsi moins les Parties à l'Annexe I qu'avec les choix méthodologiques par défaut.
- Les émissions constituent un indicateur facilement compréhensible (et plus facile à communiquer aux décideurs), pour lequel l'incertitude est faible (car il est situé haut dans la chaîne de causes à effets). Toutefois, il présente le désavantage d'être éloigné des impacts.
- L'incertitude liée aux données d'émissions historiques est également moins élevée pour cet indicateur si l'on choisit une date de début d'attribution assez proche du présent, telle 1990. Selon La Rovere¹⁴³, les problèmes de fiabilité des données seraient résolus par une révision appropriée des inventaires présentés dans le cadre des communications nationales à la Convention, qui doivent remonter à 1990.

¹⁴² BLANCHARD (2002), mais aussi LA ROVERE E.L., *Climate change and sustainable development strategies : a Brazilian Perspective*, OCDE, 2002, pp.28-32, LA ROVERE, VALENTE DE MACEDO et BAUMERT, op.cit., ou encore DEN ELZEN, BERK, LUCAS, EICKHOUT et VAN VUUREN, op.cit.

¹⁴³ LA ROVERE, op.cit., pp.28-32.

- Cet indicateur rend les calculs liés à la méthodologie de répartition de la Proposition Brésilienne moins complexes¹⁴⁴. En effet, il évite de devoir utiliser et se mettre d'accord sur un modèle climatique particulier. Or, les travaux du GIEC (2000) ont montré que les émissions cumulées fournissent une approximation raisonnable pour les contributions relatives des différentes régions au réchauffement global, quand on considère une période de temps limitée à quelques décennies (ce qui est suggéré ici).
- Le choix de cette date de début d'attribution évite des discussions visant à savoir si les pays développés peuvent être tenus responsables pour des émissions historiques qui datent d'une époque pendant laquelle les connaissances n'établissaient pas clairement les dommages liés aux émissions de gaz à effet de serre. Le rapport du GIEC en 1990 établit clairement que les émissions de gaz à effet de serre peuvent avoir des effets nuisibles.

Un désavantage majeur peut être cité pour cette adaptation de la Proposition Brésilienne : une date de début d'attribution si tardive risque d'être difficilement acceptable par les pays en développement, et tout particulièrement le Brésil.

¹⁴⁴ HÖHNE et BLOK, op.cit.

PARTIE 4 : CONCLUSIONS

La Proposition Brésilienne est actuellement la seule proposition pour l'attribution d'objectifs de réduction d'émissions de GES officiellement prise en considération dans le contexte de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Nous avons vu lors de notre exercice de comparaison avec d'autres propositions que certaines définitions de la Proposition Brésilienne favorisent clairement les pays en développement, ce qui tend à encourager leur participation. Or, à l'heure actuelle, les Parties à la Convention insistent sur l'importance d'encourager les actions des pays en développement. D'autre part, la Proposition Brésilienne repose sur une conception de l'équité intégrant la responsabilité historique, principe reconnu dans la Convention-cadre. Aucune autre proposition ne prend cette dimension en compte, bien que les pays semblent actuellement ouverts à une prise en compte de la responsabilité historique. Par exemple, la soumission de l'Union Européenne auprès des Nations Unies dans le cadre de l'article 3.9 du Protocole de Kyoto mentionne que le Groupe de Travail *ad hoc* (AWG) doit se pencher sur « l'analyse du niveau d'émissions historiques, actuelles et projetées » pour les engagements futurs liés au Protocole de Kyoto. Dès lors, il nous paraît clair que la Proposition Brésilienne offre un certain potentiel pour les négociations sur les engagements climatiques futurs.

La deuxième partie de ce mémoire a montré que la Proposition Brésilienne est plus complexe que les autres approches proposées, car elle repose sur de nombreux choix scientifiques et méthodologiques, mais que des calculs prenant en compte la responsabilité historique sont faisables. La sensibilité des résultats d'attribution de la responsabilité aux différentes régions (groupes de pays) est variable selon le type de choix à effectuer. L'impact des choix scientifiques (notamment le choix du modèle climatique) est limité en comparaison de l'impact des choix méthodologiques. Parmi ces derniers, il apparaît que les résultats sont très sensibles aux **secteurs émetteurs de CO₂** inclus dans les calculs d'attribution (inclusion du CO₂ lié aux changements d'affectation des terres, ou uniquement du CO₂ lié au secteur de l'énergie), et également au **choix des gaz à effet de serre inclus** (plusieurs gaz à effet de serre, ou seulement le CO₂). Le **choix du cadre temporel** (période pendant laquelle les effets sont attribués aux différentes sources, et date d'évaluation), ainsi que le **choix de l'indicateur des effets** sont également déterminants dans les résultats d'attribution des responsabilités aux différentes sources d'émissions. Cette sensibilité des résultats aux différents choix effectués s'observe principalement lorsque la méthodologie de répartition des efforts de réduction est appliquée à l'échelle mondiale, et dans une moindre mesure lorsque qu'on se limite aux pays de l'Annexe I.

En raison des choix méthodologiques à effectuer, la Proposition Brésilienne est modulable, et elle ne possède aucune définition unique à l'heure actuelle. Cette caractéristique peut constituer tant une difficulté qu'une opportunité. En effet, d'un côté le caractère modulable de cette proposition ôte une part d'objectivité aux résultats obtenus, chaque pays étant libre de les interpréter comme il le souhaite et d'orienter les choix méthodologiques dans la direction qui lui est la plus favorable. La répartition des efforts de réduction sera alors soumise aux pouvoirs de négociation des Parties. D'un autre côté, cette souplesse de la Proposition Brésilienne offre la possibilité de l'adapter de manière à éviter des résultats de réduction d'émissions extrêmes pour certaines Parties. Les choix méthodologiques offrent donc l'opportunité d'améliorer l'acceptabilité de la méthodologie pour certaines Parties.

Toujours dans la deuxième partie, nous avons également présenté les régimes alternatifs proposés pour la période post-Kyoto. Ils reposent sur des concepts fort différents de la Proposition Brésilienne. Il convient de choisir une définition de chacun de ces régimes alternatifs, car des variantes existent également pour chacun d'eux, et les résultats dépendent du choix de certains paramètres, mais dans une moindre mesure que pour la Proposition Brésilienne. En outre, nous avons vu que pour effectuer une comparaison des efforts de réduction et des coûts associés à chaque régime, il est avant tout nécessaire de fixer un niveau

de concentration pour la stabilisation des gaz à effet de serre (à une certaine date). Le choix de ce niveau devra être discuté lors des négociations, et il aura lui-même un impact sur l'attractivité respective des différents régimes.

La comparaison semble indiquer que la Proposition Brésilienne, telle que nous l'avons définie initialement pour la comparaison, mène à des allocations de droits d'émissions plus extrêmes que les autres régimes. Toutefois, des variantes peuvent être plus acceptables pour les Parties défavorisées par cette définition. Les profils d'attribution de réductions d'émissions découlant de la Proposition Brésilienne sont donc susceptibles de nourrir les discussions relatives à un régime futur. En termes de coûts mondiaux et de coûts régionaux, les différences entre la Proposition Brésilienne et les autres régimes ne semblent pas très élevées, ce qui confère à cette méthodologie une certaine robustesse, et confirme l'idée qu'une approche basée sur la notion de responsabilité historique peut être envisagée de manière réaliste.

Nous avons ensuite tenté de comparer qualitativement les différents régimes, mais un classement objectif sur cette base semble difficile à réaliser. En effet, chaque approche présente des forces et des faiblesses, et accorder plus de poids à l'un ou l'autre critère d'évaluation relèverait d'un jugement de valeur. Dans l'ensemble, la Proposition Brésilienne ne se distingue pas particulièrement comme étant « meilleure » ou « moins bonne » que les autres, selon les critères choisis.

Enfin, l'étude de la Proposition Brésilienne et des régimes alternatifs nous mène à souhaiter que davantage d'exercices comparatifs soient réalisés à l'avenir. En effet, il est possible de trouver dans la littérature de nombreuses références proposant des critères à utiliser pour comparer différents régimes d'engagements futurs, mais peu de comparaisons effectives des implications de ces régimes. Rappelons ici que la proposition brésilienne est la seule à figurer à l'agenda des négociations dans le contexte de la CCNUCC ; une extension des discussions dans ce contexte aux autres régimes possibles pourrait constituer un signal adressé à la communauté scientifique pour renforcer la recherche dans ce domaine. Parmi les analyses quantitatives que nous avons examinées, nous avons relevé de nombreuses limitations concernant les propositions passées en revue, l'échelle de l'analyse (souvent, les propositions sont uniquement appliquées aux Parties à l'Annexe I), le lien avec les objectifs climatiques à long terme, et surtout le manque de quantification des implications des clés de répartition en termes de coûts. D'autre part, de nombreux articles sont peu explicites quant aux choix méthodologiques qui ont été faits pour chacune des propositions analysées, ce qui rend les résultats peu exploitables. En raison de ces limitations, les résultats de notre analyse se basent sur un nombre restreint de travaux. Il serait souhaitable que davantage de comparaisons soient effectuées, sur base d'objectifs climatiques à long terme prédéfinis, dans le but de fournir un meilleur support aux négociations sur les régimes d'engagements futurs.

BIBLIOGRAPHIE

ALDY J.E., BARON R. et TUBIANA L., “Addressing Cost: The Political Economy of Climate Change”, in ALDY, J.E., ASHTON J., BARON R., BODANSKY D., CHARNOVITZ S., DIRINGER E., HELLER T.H., PERSHING J., SHUKLA P.R., TUBIANA L., TUDELA F. et WANG X., *Beyond Kyoto : Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, décembre 2003, pp.84-110.

ASHTON J. et WANG X., “Equity and Climate : In Principle and Practice”, in ALDY, J.E., ASHTON J., BARON R., BODANSKY D., CHARNOVITZ S., DIRINGER E., HELLER T.H., PERSHING J., SHUKLA P.R., TUBIANA L., TUDELA F. et WANG X., *Beyond Kyoto : Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, décembre 2003, pp.61-84.

ASLAM M.A., “Equal Per Capita Entitlements: A Key to Global Participation on Climate Change?”, in *Building on the Kyoto Protocol – options for protecting the climate*, World Resources Institute, 2002, pp. 176-200.

BAUMERT K.A. et LLOSA S., “Conclusion: Building an Effective and Fair Climate Protection Architecture”, in BAUMERT K.A., BLANCHARD O., LLOSA S., PERKAUS J.F, *Building on the Kyoto Protocol – options for protecting the climate*, World Resources Institute, 2002, pp.223-235.

BERK, M.M. and DEN ELZEN M.G.J., “Options for Differentiation of Future Commitments in Climate Policy: How to Realise Timely Participation to Meet Stringent Climate Goals?”, *Climate Policy*, vol n°1, 2001, pp. 465-480.

BLANCHARD O., “Scenarios for Differentiating Commitments: A Quantitative Analysis”, in BAUMERT K.A., BLANCHARD O., LLOSA S., PERKAUS J.F, *Building on the Kyoto Protocol – options for protecting the climate*, World Resources Institute, 2002, pp.203-222.

BLOK K., HÖHNE N., TORVANGER A. et JANZIK R., *Towards a Post-2012 Climate Change Regime. Final Report*, Commission européenne – DG Environnement, juin 2005, 130 pp.

BODANSKY D., “Climate Commitments: Assessing the Options”, in ALDY, J.E., ASHTON J., BARON R., BODANSKY D., CHARNOVITZ S., DIRINGER E., HELLER T.H., PERSHING J., SHUKLA P.R., TUBIANA L., TUDELA F. et WANG X., *Beyond Kyoto : Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, décembre 2003, pp.37-59.

BODANSKY D., CHOU S. et JORGE-TRESOLINI C., *International climate efforts beyond 2012: a survey of approaches*, PEW Center on Global Climate Change, Etats-Unis, décembre 2004, 64 pp.

BURNIAUX J-M., « Efficacité et équité dans le contrôle à long terme de l’effet de serre », *Economie internationale, la revue du CEPH*, n°82, 2^{ème} trimestre 2000, 30 pp.

DEN ELZEN M.G.J., *Report on the Expert meeting on the Brazilian Proposal: Scientific aspects and data availability, held in Cachoeira Paulista (Brazil), Centre Forecasts and Climate Studies of the National Institute for Space Research, 19-20 mai 1999*, UNFCCC, 1999.

DEN ELZEN M.G.J., BERK M., SCHAEFFER M., OLIVIER J., HENDRIKS C., METZ B., *The Brazilian Proposal and other Options for International Burden Sharing: an evaluation of*

methodological and policy aspects using the FAIR model, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), 1999, 139 pp.

DEN ELZEN M.G.J., LUCAS P., et VAN VUUREN D., "Abatement costs of post-Kyoto climate regimes", *Energy Policy*, vol.33, n°16, 2005, pp. 2138-2151.

DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M., *Assessment of major uncertainties in calculating regional contributions to climate change*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Pays-Bas, septembre 2000, 41pp.

DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M., "Responsibility for past and future global warming: uncertainties in attributing anthropogenic climate change", *Climatic Change*, vol.54, n°1-2, juillet 2002, pp.29-73.

DEN ELZEN M.G.J., SCHAEFFER M. et LUCAS P., "Differentiating future commitments on the basis of countries' relative historical responsibility for climate change: uncertainties in the 'Brazilian proposal' in the context of a policy implementation", *Climatic Change*, vol.71, n°3, août 2005, pp.277-301.

DEN ELZEN M., FUGLESVEDT J., HÖHNE N., TRUDINGER C., LOWE J., MATTHEWS B., ROMSTADT B., PIRES DE CAMPOS C., et ANDRANOVA N., "Analysing countries' contribution to climate change: Scientific and policy-related choices", *Environmental Science and Policy*, n°8, 2005, pp.614-636.

DEN ELZEN M.G.J, BERK M.M., LUCAS P., EICKHOUT B. et VAN VUUREN D.P., *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Novembre 2003, Pays-Bas.

DEN ELZEN M.G.J., *Exploring post-Kyoto climate regimes for differentiation of commitments to stabilise greenhouse gas concentrations*, Institut National de la Santé publique et de l'Environnement (RIVM), Pays-Bas, 2002.

DEPLEDGE J., "Continuing Kyoto: Extending Absolute Emission Caps to Developing Countries", in BAUMERT K.A., BLANCHARD O., LLOSA S., PERKAUS J.F, *Building on the Kyoto Protocol – options for protecting the climate*, World Resources Institute, 2002, pp. 31-60.

EVANS A., *Fresh air? Options for the future architecture of international climate change policy*, New Economics Foundation, Royaume-Uni, 2002, 24 pp.

GIEC, *Bilan 2001 des Changements Climatiques - Troisième Rapport d'Evaluation*, Volume 1 : « Les éléments scientifiques », 2001.

GIEC, *Bilan 2001 des Changements Climatiques - Troisième Rapport d'Evaluation*, Volume 2 : « Conséquences, adaptation et vulnérabilité », 2001.

GIEC, *Bilan 2001 des Changements Climatiques - Troisième Rapport d'Evaluation*, Volume 3 : « Mesures d'atténuation », 2001.

GOSSERIES A., *Emissions historiques et free-riding*, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, 2003, 35 pp.

GROENENBERG H., PHYLIPSEN D. et BLOK K., “Differentiating commitments worldwide: global differentiation of GHG emissions reductions based on the Triptych approach – a preliminary assessment”, *Energy Policy*, volume 29, n°12, 2001, pp. 1007-1030.

GUPTA J., *Encouraging developing country participation in the climate change regime*, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, Pays-Bas, 1998.

HÖHNE N. et BLOK K., “Calculating historical contributions to climate change – discussing the ‘Brazilian proposal’”, *Climatic Change*, vol.71, n°1-2, juillet 2005, pp.141-173.

HÖHNE N. ET LAHME E., *Types of future commitments under the UNFCCC and the Kyoto Protocol post-2012. Briefing Paper*, Ecofys Energy&Environment, Cologne, Allemagne, Septembre 2005, 19 pp.

IISD (International Institute for Sustainable Development), “Summary of the Eleventh Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change and First Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol: 28 November – 10 December 2005”, *Earth Negotiations Bulletin*, vol. 12 n°291, 12 décembre 2005.

KAMEYAMA Y., *Post-2012 Climate Policy Regime: Divergent Views, Trends, and the Importance of Incentives Mechanisms*, National Institute for Environmental Studies, Japon, 2004, 11 pp.

LA ROVERE E.L., *Climate change and sustainable development strategies : a Brazilian Perspective*, OCDE, 2002, pp.28-32

LA ROVERE E.L., VALENTE DE MACEDO L. et BAUMERT K.A., “The Brazilian Proposal on Relative Responsibility For Global Warming”, in BAUMERT K.A., BLANCHARD O., LLOSA S., PERKAUS J.F., *Building on the Kyoto Protocol – options for protecting the climate*, World Resource Institute, 2002, pp.157-173.

MATCH (Modelling and Assessment of Contributions of Climate Change), paper 2, *Attributing a fraction of climate change to a nation’s historical emissions: closure and scientific uncertainty*, draft version, 2005.

MICHAELOWA A., TANGEN K. and HASSELKNIPPE H., “Issues and Options for the Post-2012 Climate Architecture – An Overview”, *International Environmental Agreements*, 2005, vol.5, pp.5–24.

Ministry of the Environment of Japan, *Climate Regime Beyond 2012: Key perspectives (long-term targets). Second interim report*, Sub-Committee for International Climate Change Strategy – Global Environment Committee, Central Environment Council, Japon, mai 2005, 32 pp.

MÜLLER B., “Varieties distributive justice in climate change”, *Climatic Change*, vol.48, n°2-3, février 2001, pp.273-288.

MÜLLER B., *Justice in Global Warming Negotiations – How to obtain a procedurally fair compromise*, Oxford Institute for Energy Studies, Octobre 1999, 88 pp.

Nations Unies, *Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, 1992.

Nations Unies, *Protocole de Kyoto à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, 1997.

NEMRY F. and ELLEGAARD E. (SPF Santé Publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement – DG Environnement), *Background document for the 14th September 2004 workshop on “Future Climate Action beyond 2012”*, Belgique, septembre 2004, 25pp.

OTT H.E., WINKLER H., BROUNS B., KARTHA S., MACE M., HUQ S., KAMEYAMA Y., SARI A.P., PAN J, SOKONA Y., BHANDARI P.M., KASSENBERG A., LA ROVERE E.L. et RAHMAN A., *South-North Dialogue on Equity in the Greenhouse. A proposal for an adequate and equitable global climate agreement*, GTZ, Eschborn, Allemagne, mai 2004, 49pp.

PEW Center on Global Climate Change, *International Climate Efforts beyond 2012. Report of the Climate Dialogue at Pocantico*, Etats-Unis, novembre 2005, 25pp.

PHILBERT C., *Approaches to future international co-operation*, OCDE et AIE, 2005, 32pp.

PHILBERT C. et PERSHING J., *Evolution of Mitigation Commitments: some key issues*, OCDE et AIE, Paris, 2003.

PINGUELLI ROSA L., KAHN RIBEIRO S., MUYLEAERT M.S. et PIRES DE CAMPOS C., *Comments on the Brazilian Proposal and Contributions to Global Temperature Increase with different Climate Responses – CO₂ emissions due to Fossil Fuels, CO₂ Emissions due to Land Use Change*, International Virtual Institute of Global Change, Brésil, 2004, 25pp.

PINGUELLI ROSA L. ET KAHN RIBEIRO S., *The present, past and future contributions to global warming of CO₂ emissions from fuels. A key for negotiation in the climate convention*, International Virtual Institute of Global Change, Brésil, 2001.

PINGUELLI ROSA L., MUYLEAERT M.S. and PIRES DE CAMPOS S., *The Brazilian proposal and its Scientific and Methodological Aspects: working draft*, International Institute for Sustainable Development & Climate Change Knowledge Network, 2003, 11pp.

RINGIUS, L., TORVANGER A. et UNDERDAL A., “Burden sharing and fairness principles in international climate policy”, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, vol.2, n° 1, pp.1-22, Pays-Bas, 2002.

RINGIUS, L., FREDERIKSEN, P. & BIRR-PEDERSEN, K., *Burden Sharing in the Context of Global Climate Change. A North-South Perspective*, National Environmental Research Institute – Ministry of the Environment, Technical Report No. 424, Danemark, 2002, 90 pp.

ROMSTAD B., FUGLESTVEDT J.S. et BERNTSEN T., “Who’s to blame for our changing climate?”, *Cicerone*, n°1, CICERO, 2003.

SAGAR A.D., “Wealth, responsibility, and equity: exploring an allocation framework for global GHG emissions”, *Climatic Change*, vol.45, n°3-4, juin 2000, pp.511-527.

STOREY M., *Kyoto and Beyond, Issues and options in the global response to climate change*, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, 2002, 46pp.

TORVANGER A., TWENA M., VEVATNE J., *Climate policy beyond 2012: a survey of long-term targets and future frameworks*, CICERO (Center for International Climate and Environmental Research), Norvège, mai 2004, 51pp.

TORVANGER, A., GODAL, O., “An evaluation of pre-Kyoto differentiation proposals for national greenhouse gas abatement targets”, *International Environmental Agreements : politics, law and economics*, Vol.4, Pays-Bas, 2004, pp.65-91.

TRUDINGER C. et ENTING I., “Comparison of formalisms for attributing responsibility for climate change: non-linearities in the Brazilian proposal approach”, *Climatic Change*, vol.68, n°1-2, janvier 2005, pp.67-99.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) – Ad Hoc Group on the Berlin Mandate, seventh session, *Implementation of the Berlin Mandate: Additional proposals from Parties – addendum – note by the secretariat*, 30 mai 1997, 60pp.

UNFCCC – SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) – fourteenth session, Bonn, 16-27 July 2001, item 4 of the provisional agenda, *Scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil. Progress report on the review of the scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil – Note by the secretariat*, 10 juillet 2001.

UNFCCC – SBSTA – seventeenth session, New Delhi, 23-29 October 2002, item 4(f) on the provisional agenda, *Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting – note by the secretariat*, 16 octobre 2002.

UNFCCC – SBSTA (23ème session), *Scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil: oral report by the secretariat at SBSTA 23*, 2005.

WITTNEBEN B., HAXELTINE A., KJELLEN B., KÖHLER J., TURNPENNY J. ET WARREN R., *A framework for assessing the political economy of post-2012 global climate regime*, Tyndall centre for Climate Change Research, working paper 80, Manchester, août 2005, 33pp.

Sites Internet

Site du GIEC (= IPCC) : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<http://www.ipcc.ch/>

Site du Secrétariat de la Convention cadre des Nations Unies :
<http://unfccc.int/>

Site du groupe MATCH (Ad hoc group for the modelling and assessment of contributions of climate change):
<http://www.match-info.net/>

Site du service Changements Climatiques (SPF Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement) :

<http://www.climat.be/fr/apres2012.html>

Site de la Commission Européenne – DG Environnement :

<http://europa.eu.int/comm/environment/climat/>

Site du "Future International Action on Climate Change Network" :

<http://www.fiacc.net/>

Site de L'agence Environnementale Européenne :

<http://www.eea.eu.int/>

Site du Global Commons Institute :

<http://www.gci.org.uk>

Site du Climate Action Network :

<http://www.climnet.org/>

Autres sources d'informations

Réunion des experts du groupe MATCH (Modelling and Assessment of Contributions to Climate Change), 13 et 14 mars 2006, Louvain-La-Neuve, Belgique.