

*Collection « Études et synthèses »*

## **Des accords sectoriels dans les engagements post 2012**



*Liberté • Égalité • Fraternité*  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT  
ET DE L'AMÉNAGEMENT  
DURABLES

**Collection « Études et synthèses » de la Direction des Études Économiques et de l'Évaluation Environnementale (D4E)**

Les publications de la D4E sont disponibles à l'adresse suivante : [www.ecologie.gouv.fr/-Collection-Etudes-et-syntheses](http://www.ecologie.gouv.fr/-Collection-Etudes-et-syntheses)

Titre du document : Des accords sectoriels dans les engagements post 2012  
Auteur(s) : Aurélie VIEILLEFOSSE (01 42 19 25 29 - aurelie.vieillefosse@ecologie.gouv.fr)  
Référence du document : 2007-02 (07-E02)  
Date de publication : Février 2007  
Crédit photos couverture : Laurent MIGNAUD - Medad

Ce document n'engage que son auteur et non les institutions auxquelles il appartient.  
L'objet de cette diffusion est de stimuler le débat et d'appeler des commentaires et des critiques.



**SOMMAIRE**

<b>I. Le protocole de Kyoto génère-t-il des distorsions de concurrence ?</b>	<b>5</b>
1. Rappel de la théorie économique sur les havres de pollution	5
2. Le problème des distorsions de concurrence dans le protocole de Kyoto	7
<b>II. Qu'est ce qu'un objectif sectoriel ?</b>	<b>13</b>
<b>III. Analyse par secteur</b>	<b>18</b>
1. Les enjeux par secteurs	18
2. Production d'électricité et de chaleur	19
3. Industrie	28
4. Ciment	31
5. Acier	39
6. Aluminium	48
7. Chimie	56
8. Transport: Véhicules légers	60
9. L'aviation	68
<b>IV. Discussion et Conclusion</b>	<b>71</b>
<b>V. Bibliographie</b>	<b>74</b>
<b>Annexe 1 : Est-il possible de mettre en place un ajustement fiscal à la frontière pour des produits intensifs en CO<sub>2</sub> ? (source : Berthier, 2006)</b>	<b>75</b>
<b>Annexe 2 : Le problème du double compte</b>	<b>78</b>
<b>Annexe 3 : Tendance des émissions mondiales par secteur</b>	<b>79</b>

**RÉSUMÉ**

Un des principaux enjeux des négociations sur l'après 2012 est de donner de la certitude aux milieux industriels pour qu'ils investissent dans les technologies propres, que ce soit dans les pays développés ou en développement. C'est d'autant plus important que le stock de capital se renouvelle lentement dans de nombreuses industries. C'est pourquoi il est nécessaire de développer rapidement des instruments économiques pour inciter les industriels à adopter les technologies les moins polluantes. Un autre enjeu essentiel est de minimiser les distorsions de concurrence générées par la contrainte carbone : le risque de délocalisation est un argument trop souvent avancé par les pays pour refuser d'agir. Les pays en développement ont exprimé à maintes reprises leur rejet d'engagements de réduction absolus et contraignants, de type Kyoto. C'est pourquoi l'idée d'approches sectorielles a été développée.

Notre analyse couvre les secteurs de la production d'électricité, d'acier, de ciment, d'aluminium, et partiellement le secteur des transports (ie les constructeurs de véhicules légers motorisés et les transporteurs aériens), secteurs responsables de 47% des émissions de gaz à effet de serre mondiales. Elle fait ressortir que dans chaque secteur, les performances des pays sont très variables. Il n'y a aucun secteur où un benchmark unique apparaisse de façon évidente. Dans quasiment chaque secteur (transports excepté), les ressources naturelles locales influencent les performances et ne sont du ressort ni des gouvernements, ni des industriels. Il faut aussi souligner que la possibilité d'engagements sectoriels internationaux dépend beaucoup de la capacité des pays en développement à les appliquer notamment en termes de suivi et de contrôle. Enfin, dans tous les secteurs étudiés, la Chine est un des 5 premiers producteurs mondiaux. Elle apparaît donc comme un acteur incontournable de tout accord sectoriel.

L'ampleur de l'enjeu quantitatif du secteur électrique rend l'action urgente : une approche sectorielle au niveau des Etats pourrait être intéressante pour inciter ces derniers à faire évoluer leur mix énergétique. Dans l'industrie, les secteurs du ciment, de l'acier, et de l'aluminium se prêteraient le mieux à une approche sectorielle car ils sont caractérisés par une exposition à la concurrence internationale (plus faible pour le ciment), une forte concentration des acteurs, et un nombre de produits et de procédés relativement réduit. Dans l'industrie chimique, les données sont insuffisantes pour conclure. On pourrait néanmoins travailler sur des approches sectorielles dans des sous secteurs comme le raffinage. Dans les transports, les constructeurs de véhicules terrestres motorisés se prêteraient à une approche sectorielle car il y a un faible nombre d'acteurs, une forte exposition à la concurrence internationale, et les produits sont peu différenciés. C'est vrai aussi pour le transport aérien.

Le monde de 2006 n'est plus celui de 1997, date à laquelle les pays membres de la convention climat ont adopté le protocole de Kyoto. La Chine est aujourd'hui le premier producteur mondial d'acier, de ciment et d'aluminium. Elle est le deuxième producteur mondial d'électricité et le quatrième fabricant mondial de véhicules. D'une manière générale, les pays en développement sont responsables de 42 % de la production d'acier et fer, de 57 % de la production d'engrais, de 78 % de la production de ciment et de 52 % de la production d'aluminium en 2003. Beaucoup d'installations dans les pays en développement sont nouvelles et utilisent les meilleures technologies disponibles. Ces statistiques ne remettent pas en cause le principe de responsabilités communes mais différenciées de la convention climat : les pays développés ont une responsabilité historique sur les émissions et leurs émissions par tête sont encore largement supérieures à celles des pays en développement (24,2 tCO<sub>2</sub>/hab aux Etats Unis et 10,6 tCO<sub>2</sub>/hab en Europe contre 3,9 tCO<sub>2</sub>/hab en Chine en 2000.)

Néanmoins, les enjeux quantitatifs sont tels que les réductions d'émissions devront nécessairement avoir lieu aussi dans les pays en développement, et ce d'autant plus que le coût marginal de réduction y est souvent plus faible. C'est un des enjeux principaux des négociations sur l'après Kyoto : définir de nouvelles modalités d'association des pays en développement à l'effort collectif international de réduction des émissions, dans un contexte où les craintes européennes et américaines de pertes de compétitivité vis à vis des économies asiatiques sont exacerbées. Les dénonciations de distorsion de concurrence sont fortement relayées dans les pays ayant des engagements quantitatifs et l'opinion publique y est sensible. Au-delà de l'enjeu proprement économique et financier, il y a donc un enjeu de poursuite de la négociation. Parmi les pistes envisagées, une des options régulièrement avancée est celle d'approches sectorielles pour les secteurs soumis à la concurrence internationale. Or, c'est un concept encore très vague qu'il nous est apparu utile de clarifier.

La première partie revient dans un premier temps sur le concept de distorsions de concurrence, qui est difficile à appréhender, ceci afin de clarifier les enjeux et les objectifs des négociations. Dans la deuxième partie, une analyse des différents secteurs est effectuée selon la clé de lecture suivante : évaluation des émissions du secteur, comparaison des performances des différents pays en termes d'émissions, projections de croissance et exposition à la concurrence internationale. Ces différents points permettent d'évaluer la mesure dans laquelle un objectif sectoriel serait justifié et pertinent pour chaque secteur évalué (électricité, acier, aluminium, ciment, véhicules légers, aviation). Les secteurs retenus pour l'analyse sont ceux qui représentent les plus gros enjeux en termes de distorsion de concurrence et/ou les plus gros enjeux quantitatifs (à noter : le secteur de l'utilisation des terres a été traité dans un document de travail séparé).

## I. Le protocole de Kyoto génère-t-il des distorsions de concurrence ?

Les questions des distorsions de concurrence et d'impact sur la croissance sont au cœur des débats actuels sur les politiques de lutte contre le changement climatique dans les pays développés et elles le seront encore plus dans le futur. Une des raisons avancées par les Etats-Unis et l'Australie pour justifier leur retrait du protocole de Kyoto était d'ailleurs l'exposition internationale de certains secteurs intensifs en carbone et le risque de perdre de la croissance et des emplois.

### 1. Rappel de la théorie économique sur les havres de pollution<sup>1</sup>

La régulation environnementale est régulièrement suspectée de nuire à la compétitivité des entreprises, et plus précisément de contribuer à des délocalisations d'activités vers des pays plus laxistes en la matière. Tout d'abord, on peut répondre à ces inquiétudes que **les choix de localisation des entreprises dépendent d'un ensemble de facteurs : différentiels de coûts, taille du marché, effets d'agglomération, compétitivité fiscale. Les régulations environnementales ne constituent qu'un élément parmi d'autres, dont le poids ne doit pas être surestimé.**

*1.1. L'expression « perte de compétitivité » a-t-elle un sens pour un pays ?*

Les économistes sont en général réticents vis-à-vis du concept de **compétitivité d'une économie**. Au niveau d'une entreprise en situation concurrentielle, la notion est proche de celle de productivité. Si une entreprise a des coûts<sup>2</sup> supérieurs aux prix du marché, elle vend à perte et est condamnée à disparaître. Une entreprise ne peut en général pas influencer les prix sur les marchés des produits ou sur ceux des facteurs, c'est pourquoi elle ne peut accroître sa compétitivité qu'en accroissant sa productivité.

Ce raisonnement ne peut pas être extrapolé au niveau d'un pays. Premièrement, la compétitivité d'un pays est étroitement liée à la notion de bien être : une nation est compétitive si elle parvient à accroître durablement le bien-être de ses habitants. Deuxièmement, **l'ajustement du taux de change réel conduit à la disparition du problème de compétitivité pour un pays**. Un pays qui augmente ses taxes environnementales voit ses coûts augmenter, les prix des industries exportatrices augmenter et l'emploi diminuer dans le secteur concerné. L'accroissement du chômage créant une pression à la baisse sur les salaires réels, les prix intérieurs baissent relativement aux prix extérieurs, et le taux de change réel, qui exprime le rapport entre prix intérieurs et prix extérieurs, se déprécie et la compétitivité est rétablie<sup>3</sup>.

Ainsi, on ne peut pas dire qu'une modification de la fiscalité environnementale diminue la compétitivité d'un pays. En revanche, elle est susceptible d'entraîner **un changement de la spécialisation du pays au profit des industries non polluantes** (en réduisant la productivité et donc la compétitivité des industries polluantes).

<sup>1</sup> Cette partie 1 est extraite du rapport du CAE de Bureau et Mougeot.

<sup>2</sup> Certaines entreprises peuvent néanmoins avoir des coûts élevés mais se positionner sur des segments de marché où l'image de marque ou bien la qualité du produit font une différence, c'est ce qu'on appelle la compétitivité hors coût.

<sup>3</sup> Ce raisonnement ne prend pas en compte l'impact potentiellement positif de la réglementation environnementale sur l'innovation.

## 1.2. Les politiques environnementales influencent-elles les spécialisations des pays ?

Les spécialisations internationales des pays s'expliquent-elles par les différences de sévérité de politiques environnementales ? Pour Copeland et Taylor (2003), deux hypothèses s'opposent. Selon **l'hypothèse du havre de pollution**, les pays adoptant une politique environnementale laxiste, généralement les pays à bas revenus, se spécialisent dans les industries polluantes. Selon **l'hypothèse des dotations de facteurs**, les politiques environnementales ont peu d'effet sur la spécialisation qui dépend essentiellement des dotations de facteurs (capital, etc.).

L'hypothèse du havre de pollution est facile à comprendre lorsque les seules différences entre pays sont des **différences exogènes de politique environnementale**. On suppose que le pays riche adopte une politique plus stricte que le pays pauvre. Il produit moins de biens dont la production engendre de la pollution, ce qui augmente le prix intérieur de ce bien, et génère du commerce international. Comme le prix relatif interne du bien « polluant » est plus élevé dans le pays riche, ce dernier importe le bien « polluant » depuis le pays pauvre. Le pays riche ayant un avantage dans la production du bien « propre » exporte ce bien. La pollution augmente dans le pays pauvre alors qu'elle diminue dans le pays riche. **Le même résultat est obtenu si la politique environnementale est endogène**. Comme la qualité de l'environnement est un bien normal, le pays à haut revenu choisit un plus haut niveau de taxes environnementales ce qui crée du commerce international. Le pays riche importe le bien « polluant » et a un avantage comparatif dans le bien « propre » qu'il exporte. Sous cette hypothèse, le déplacement des productions polluantes vers les pays pauvres et **la spécialisation du pays riche au profit d'industries et de services non polluants (nouvelles technologies, finance, information, etc.) apparaissent favorables aux pays qui taxent la pollution**.

L'hypothèse alternative peut être analysée en supposant d'abord des politiques environnementales exogènes identiques mais des dotations de facteurs différentes, le pays riche étant abondant en capital. Supposons la production du bien « polluant » intensive en capital, le pays riche va exporter le bien « polluant » ce qui augmente la pollution dans ce pays et la diminue dans le pays pauvre. Sous cette hypothèse, l'impact du commerce international sur l'environnement dépend des dotations de facteurs : **les pays riches en facteurs utilisés de manière intensive dans les industries polluantes se spécialiseront dans celles-ci**. Par rapport à la question du changement climatique, on peut appliquer cette analyse aux pays riches en combustibles fossiles : un pays comme l'Australie, riche en matières premières, a développé une industrie de transformation plus intensive en combustibles fossiles que l'industrie japonaise ou européenne. De même, le contenu en carbone de l'électricité, intrant très important pour nombre d'industries, varie significativement d'un pays à l'autre en fonction des dotations en ressources et des choix énergétiques de chacun.

Pour conclure, les **spécialisations internationales observées s'expliquent soit par des différences de politiques environnementales, soit par l'abondance relative en facteurs (capital, ressources naturelles...) utilisés de manière intensive dans les industries polluantes**. Le sens du commerce international et la nature des spécialisations dépendent de la dominance d'un effet sur l'autre. Si les industries polluantes sont intensives en travail non qualifié et en ressources naturelles et si ces facteurs sont abondants dans les pays en développement, ceux-ci se spécialiseront dans ces productions en l'absence de toute réglementation environnementale dans les pays développés. Si l'effet des différences de dotation l'emporte sur l'effet des différences de revenu, cela peut être le pays riche qui se spécialise dans la production de biens génératrice de pollution, même si les régulations environnementales y sont plus strictes.

### 1.3. Études économiques empiriques sur les délocalisations vers les « havres de pollution »

De nombreux auteurs ont cherché à montrer que l'accroissement des normes environnementales dans les pays développés allaient conduire à des délocalisations des industries polluantes et à la création de « havres de pollution » dans les pays du Sud. Selon ces auteurs, les spécialisations internationales évolueraient en faveur des industries propres dans les pays développés et des industries polluantes dans les pays du Sud. On peut néanmoins reprocher à la plupart de ces travaux **de ne séparer les effets spécifiques liés à la taxation environnementale et les effets résultant du développement des pays du Sud**. Ainsi, selon Copeland et Taylor, la recherche de ces havres a masqué le rôle des ressources naturelles et de l'accumulation du capital dans la détermination des déplacements des industries polluantes vers le sud. Les modifications de spécialisations associées aux variations de politiques environnementales ne sont pas différentes de celles qui ont caractérisé l'évolution générale du commerce international dans les périodes récentes.

En définitive, l'analyse de la relation entre politique environnementale et commerce international **n'a pas abouti à des conclusions robustes**. Une raison essentielle est que **les coûts liés à l'environnement ont été trop faibles à ce jour** pour influencer les décisions de localisation des entreprises dans la plupart des secteurs. D'autre part, les industries les plus polluantes et donc les plus touchées par les réglementations sont **les moins géographiquement mobiles**. L'effet significatif des politiques environnementales serait donc limité aux industries polluantes mobiles.

## 2. Le problème des distorsions de concurrence dans le protocole de Kyoto

### 2.1. Distorsions de concurrence entre parties de l'annexe B du protocole de Kyoto

La mise en place du protocole de Kyoto pourrait générer des problèmes de distorsions de concurrence sur deux plans. Tout d'abord, **il peut exister des distorsions de concurrence entre deux entreprises situées dans deux États parties de l'annexe B<sup>4</sup> du protocole de Kyoto mais qui ont décidé de faire porter des contraintes différentes sur leurs secteurs industriels**. En effet, le protocole de Kyoto laisse aux États toute liberté sur la façon d'atteindre leurs objectifs de réduction. **Il ne fait pas intrusion dans les politiques nationales, sujet extrêmement sensible**. Des objectifs nationaux ont été fixés et chaque gouvernement est ensuite libre d'atteindre ces objectifs de la façon qui lui semble la plus adaptée, en prenant en compte ses circonstances nationales. Un État peut mettre en place une politique domestique ambitieuse et faire peser une contrainte de réduction forte sur ses industriels. Mais il a aussi le droit de ne faire porter aucune contrainte sur ses industriels et de répercuter l'effort sur les autres secteurs économiques, voire même d'acheter tous les crédits sur le marché international. Cette liberté des États concernant la mise en œuvre du protocole, a été voulue et acceptée à Kyoto mais elle peut générer des distorsions de concurrence. Ainsi, à l'avenir, la question peut donc se poser d'une allocation **harmonisée** pour les secteurs soumis à la concurrence internationale. Cette idée d'approche sectorielle harmonisée pour des secteurs spécifiques était d'ailleurs déjà envisagée dans le protocole de Kyoto pour le secteur des routes internationales (aviation et marine internationales) dont les émissions n'ont pas été attribuées à un pays donné, en partie parce que le risque de distorsion de concurrence paraissait très élevé.

---

<sup>4</sup> Seuls les pays ayant ratifié le protocole de Kyoto (parties) et listés dans son annexe B ont des objectifs quantitatifs contraignants de réduction de leurs émissions.

Ces craintes de distorsions sont fondées. Néanmoins, il ne faut pas perdre de vue que l'objectif de mettre en place une contrainte carbone est bien **de changer la répartition de la valeur ajoutée ou de l'emploi entre les différentes activités industrielles d'un pays pour privilégier les matériaux ou les activités les moins intenses en CO<sub>2</sub>**. Au sein des pays ayant une contrainte Kyoto, la contrainte carbone devrait donner un avantage comparatif aux pays dont les secteurs ont les productions les moins intenses en CO<sub>2</sub> (les gouvernements européens ont d'ailleurs l'ambition aujourd'hui d'inciter leurs industries à devenir les pionniers des technologies propres et de l'efficacité énergétique). Elle pourrait aussi à terme amener un rééquilibrage des transports **en rapprochant les lieux de production et de consommation**, ce qui serait efficace environnementalement (Baron, 2006).

## 2.2. Distorsion de concurrence entre les parties de l'annexe B du protocole de Kyoto et les autres

Le deuxième problème qui se pose dans le protocole de Kyoto est qu'une majorité d'Etats n'a actuellement aucune contrainte de limitation de ses émissions : les Etats-Unis et l'Australie ont refusé de ratifier le protocole et les grands pays émergents comme la Chine, le Mexique, le Brésil, l'Inde ou l'Afrique du Sud n'ont pas d'objectifs de réduction. La question des distorsions de concurrence entre les industriels des pays soumis à un objectif de réduction et les autres se pose déjà aujourd'hui et elle va se poser de façon cruciale dans le futur lorsque les réductions d'émission deviendront significatives. Selon l'Union européenne, il conviendrait d'envisager pour le groupe des pays développés des profils de réduction de l'ordre de 15 à 30 % d'ici 2020 et de 60 % à 80 % d'ici 2050 par rapport au niveau de 1990 pour limiter l'augmentation de température à 2 °C (dans un contexte où les émissions mondiales seraient réduites de 15 % au moins, voire de 50 %, par rapport à ceux de 1990, d'ici à 2050, (Conseil européen de 2005)). **Les gouvernements des pays développés ont de fortes inquiétudes quant au risque de délocalisation de certaines industries à ce niveau de contrainte.**

Les « fuites » de carbone, ou déplacements d'émissions, sont préoccupantes pour les pays concernés du point de vue économique, mais ils peuvent l'être aussi d'un point de vue environnemental. En effet, ces fuites atténuent considérablement l'effet des réductions d'émissions effectuées par chaque pays. C'est d'autant plus inefficace que les réglementations environnementales sont souvent moins strictes dans les pays où les industries sont déplacées et que les industries peuvent y être plus émettrices. De plus, les délocalisations peuvent entraîner une hausse des émissions dues aux transports si les pays augmentent leurs importations de matériaux intenses en CO<sub>2</sub>. Selon le GIEC (2001), « *la délocalisation d'industries intensives en carbone dans des pays non annexe 1 et les impacts plus larges sur les flux commerciaux en réponse au changement de prix pourrait entraîner entre 5 et 20 % de fuites des émissions des pays Annexe 1 vers les pays non annexe 1. Ces fuites peuvent être minimisées par l'échange de permis d'émission et la coordination des actions au niveau sectoriel.* »

Comme expliqué au 1.1, les études économiques publiées à ce jour sont peu concluantes sur la question du risque de délocalisation suite à la mise en place d'une législation environnementale. Néanmoins, cette absence de résultats concluants peut s'expliquer en partie parce que les coûts liés à la protection de l'environnement **ont été trop faibles à ce jour pour influencer les décisions de localisation des entreprises** dans la plupart des secteurs. Or, le changement climatique pose un problème particulier pour deux raisons. Premièrement, le climat est un bien public mondial pur : contrairement à la plupart des problèmes environnementaux qui sont locaux, les réductions d'émissions de gaz à effet de serre effectuées par un pays profitent à tous les autres. Il est donc beaucoup plus difficile de faire accepter aux industriels les efforts de réduction de leurs émissions alors que les bénéfices pour le pays d'implantation ne sont pas évidents



(heureusement la réduction des consommations de combustibles a souvent aussi des impacts locaux, via la réduction de la pollution de l'air et de la dépendance énergétique). Surtout, étant donnée l'ampleur des réductions d'émissions envisagées, la lutte contre le changement climatique devrait entraîner des changements structurels profonds dans les économies, ce qui n'était pas le cas avec les problèmes environnementaux précédents. **Les ordres de grandeur des coûts observés jusqu'à présent ne rendent pas compte de l'ampleur de l'effort économique à fournir et donc de l'avantage compétitif procuré aux industries situées dans des pays sans contrainte carbone** (Baron, 2006).

Pour limiter ce risque de délocalisation, il est régulièrement proposé de mettre en place un ajustement fiscal à la frontière, c'est-à-dire une taxation des importations proportionnellement à leur contenu en gaz à effet de serre et une détaxation à l'exportation des biens taxés. Néanmoins, un tel ajustement, outre qu'il poserait de grosses difficultés techniques, pourrait être contesté par rapport aux règles de l'OMC. En effet, le cadre juridique de l'OMC n'est pas clair sur la question des procédés et méthodes de production non incorporés, c'est à dire les procédés qui ne laissent pas de trace dans le produit final (comme notamment les combustibles fossiles). **De plus, comme l'Union européenne a choisi de développer un marché de permis où les quotas sont alloués gratuitement et non une taxe, la légalité d'un ajustement fiscal sera difficile à justifier (voir annexe 1<sup>5</sup>).**

En tout état de cause, il est clair que les pays développés ne s'engageront pas unilatéralement à réduire leurs émissions en l'absence d'engagement des pays en développement. **Cependant, il est aussi peu probable que ces derniers acceptent des engagements de limitations quantitatives contraignantes similaires à ceux des pays développés.** Une solution intermédiaire serait par exemple que les pays en développement s'engagent sur des objectifs de moyens (de types politiques et mesures) plutôt que de résultats. L'idée d'approches sectorielles pourrait alors être pertinente pour traiter les secteurs fortement soumis à la concurrence internationale dans les pays en développement.

### 2.3. Le mécanisme de développement propre est-il une réponse à ces préoccupations ?

Les parties à la convention climat ont développé un instrument pour réduire les émissions dans les pays en développement : le mécanisme de développement propre (MDP)<sup>6</sup>. En contrepartie d'un investissement propre, un industriel va pouvoir gagner un certain nombre de crédits carbone, pour un montant égal à la différence entre les émissions après la mise en place du projet et un scénario de référence défini *ex ante* et validé par un comité, chargé de superviser le MDP, le Conseil exécutif du MDP. Le MDP vise à encourager les transferts de technologie et à verdir les investissements directs à l'étranger. Dans la mesure où le MDP permet **aux industriels des pays développés d'accéder à des réductions d'émissions à faible coût, il permet de réduire l'impact de la contrainte carbone sur ces derniers et donc les distorsions de concurrence** (puisqu'il entraîne une diminution du prix du carbone). Dans les secteurs très internationalisés comme le ciment ou l'acier, les compagnies présentes à la fois dans les pays développés et les pays en développement peuvent générer des crédits MDP dans leurs installations situées dans les pays en développement et les utiliser pour remplir leurs engagements dans le cadre du marché européen notamment. Elles peuvent donc mutualiser la contrainte carbone sur l'ensemble de leurs installations. (Cela dépend néanmoins de la

<sup>5</sup> Pour une analyse approfondie sur le sujet, se reporter au document de travail D4E d'A Berthier et C Cros. *Compatibilité de mesures de protection de la compétitivité d'une industrie soumise à réduction des émissions de carbone avec les règles de l'organisation mondiale du commerce.*

<sup>6</sup> Pour plus d'information sur le MDP, se reporter au document de travail D4E d'A. Vieillefosse (2006) : *Le mécanisme de développement propre (MDP) : bilan et perspectives.*

structure du parc des multinationales concernées car le remplacement de vieilles usines inefficaces par des installations nouvelles, utilisant les meilleures technologies disponibles, n'est pas éligible au MDP).

Selon la théorie économique, **un système de crédits et un système de marché de permis sont quasiment équivalents**. En effet, dans les deux cas, les industriels vont investir pour réduire leurs émissions, et ces investissements vont **augmenter leur coût unitaire de production**. Selon cette logique, les industriels dans les pays en développement devraient **augmenter leurs prix** pour refléter l'augmentation de leur coût marginal de production due au coût additionnel de réduction de leurs émissions (surtout si les technologies de réduction sont « *end of the pipe* »). Les crédits MDP qu'ils reçoivent représentent une valeur forfaitaire qui ne devrait pas avoir d'implication sur leurs décisions de production mais seulement sur le profit de l'entreprise (cela ramène alors à la question cruciale, peu étudiée à ce jour, de l'impact d'une subvention forfaitaire sur la compétitivité d'une entreprise).

En pratique, il semble que la différence entre les deux systèmes soit plus subtile. Il apparaît que le mécanisme de développement propre serait plutôt équivalent à un marché de permis **en intensité**, c'est à dire où les permis sont alloués en fonction du niveau de production (sauf qu'il n'y aurait pas de contrainte sur les émissions). La différence entre un marché de permis absolu et un marché relatif peut s'expliquer par une modélisation simple (voir encadré).

Marché de permis absolu :

On modélise le profit d'une entreprise soumise à une contrainte de réduction dans un marché de permis absolu par l'équation suivante :

$$\pi = Py - C(y) - c(e) - p_{CO_2}e + p_{CO_2}e^A$$

où  $\pi$  est le profit,  $y$  la quantité produite,  $P$  est le prix de marché du bien  $y$ ,  $e$  le niveau des émissions de gaz à effet de serre, le coût de production est en deux terme :  $C(y)$  est la partie du coût de production qui dépend de  $y$  et  $c(e)$  le coût qui dépend du niveau d'émission  $e$  (on suppose donc une indépendance totale entre la quantité produite  $y$  et le niveau des émissions  $e$ , ce qui est peu réaliste).  $p_{CO_2}$  est le prix du  $CO_2$  et  $e^A$  est l'allocation initiale des permis.  $p_{CO_2}e^A$  est la valeur des quotas reçus gratuitement, c'est un transfert forfaitaire sur lequel l'entreprise n'a pas de prise.

Lorsqu'on maximise le produit en  $y$  et  $e$  :

$$P = C_y(y)$$

$$p_{CO_2} = -c'(e)$$

Marché de permis relatif :

$$\pi = Py - C(y) - c(e) - p_{CO_2}e + p_{CO_2}ry$$

Le terme  $p_{CO_2}e^A$  a été remplacé par un nouveau terme :  $p_{CO_2}ry$ . Les industriels reçoivent un montant de permis en fonction de leur niveau de production  $y$  et d'un facteur  $r$  qui a été déterminé en fonction d'un benchmark.

Lorsqu'on maximise le produit en  $y$  et  $e$  :

$$P = C_y(y) - p_{CO_2}r$$

$$p_{CO_2} = -c'(e)$$

On voit que le prix du bien  $y$  est inférieur dans un marché de permis relatif par rapport à un marché de permis absolu. **L'allocation des quotas dans le marché relatif constitue une subvention à la production.**

Le mécanisme de développement propre :

Dans le cadre du mécanisme de développement propre, les industriels des pays en développement n'ont pas à acheter de permis : le terme  $p_{CO_2}e$  disparaît de l'équation. On suppose que dans le MDP, les industriels reçoivent un montant de crédits qui est fonction de leur niveau de production  $y$ .

$$\pi = Py - C(y) - c(e) + p_{CO_2}ry$$

Lorsqu'on maximise le produit en  $y$  :

$$P = C_y(y) - p_{CO_2}r$$

**Là aussi, les crédits MDP constituent une subvention à la production.**

L'industriel choisit de participer au MDP si :

$$\Pi_{\text{projet}} \geq \Pi_{\text{BAU}}, \text{ soit si } p_{CO_2}ry \geq -c(e)$$

Ce calcul simple fait ressortir que le MDP réduit l'écart de profit entre les industriels des pays en développement et ceux des pays développés. En effet, un nouveau coût  $c(e)$  sera internalisé dans le coût marginal du produit. **Néanmoins, le MDP ne résout pas complètement les problèmes de distorsions de concurrence** : de la même façon qu'un système de permis relatif, il entraîne une baisse du prix des biens dans les pays en développement.

Pour conclure, le problème des distorsions de concurrence apparaît relativement complexe. L'idée selon laquelle il suffirait, pour le régler, que la Chine et l'Inde aient des objectifs de réduction de leurs émissions apparaît trop simpliste. En effet, il peut exister des distorsions entre pays au sein de la zone Kyoto, de part les différents choix de mise en œuvre des gouvernements et aussi de part la disparité des niveaux de contrainte. On ne pourrait vraiment espérer les empêcher qu'en harmonisant les allocations, ce qui paraît peu réaliste à l'heure actuelle (même au sein de l'Union européenne, les pays n'ont pas réussi à s'accorder sur une harmonisation des allocations aux industriels dans le cadre du marché européen). En effet, la question de l'allocation amène naturellement à la question de l'équité et ouvre alors un vaste débat qui est loin d'être résolu. Le long terme n'effacera pas toutes les raisons objectives qui font que les émissions par habitant diffèrent d'un pays à l'autre (niveau de développement industriel et spécialisation internationale, modes de transport, types d'agriculture, taille du pays, climat du pays, etc..).

Le MDP, en réduisant le prix du carbone sur la scène internationale, est une réponse partielle au problème des distorsions de concurrence mais n'est pas suffisant dans le futur au vu des niveaux de réduction d'émission envisagés à l'horizon 2050. C'est dans ce contexte qu'il est intéressant d'analyser les mécanismes d'approches sectorielles proposés actuellement.

## II. Qu'est ce qu'un objectif sectoriel?

Le principe d'une approche sectorielle est de faire peser un objectif de réduction de gaz à effet de serre sur un secteur donné au lieu de le faire peser sur l'ensemble de l'économie comme l'objectif de Kyoto. Un objectif sectoriel serait moins efficace en termes de coûts qu'un objectif de réduction à l'échelle d'un pays puisqu'il ne permettrait d'égaliser les coûts marginaux de réduction que sur un nombre plus réduit de secteurs. Néanmoins, il présenterait aussi un certain nombre d'avantages : il pourrait être plus faisable, d'un point de vue politique, institutionnel et économique pour les grands pays émergents de commencer sur une base sectorielle que de s'engager sur l'ensemble de leur économie. En particulier, **il pourrait être plus facile de construire les capacités techniques et la collecte de données (pour les inventaires et les projections) à l'échelle sectorielle**. Par ailleurs, l'objectif sectoriel donnerait un signal clair aux secteurs concernés pour qu'ils investissent dans les technologies propres. Enfin, il pourrait permettre de réduire les distorsions de concurrence dans les secteurs soumis à la concurrence internationale (ce n'est pas totalement vrai si l'objectif est fixé au niveau des Etats puisque les allocations aux industriels ne seraient alors pas nécessairement harmonisées). **Deux grands types d'objectifs sectoriels sont envisageables.**

### Objectif au niveau de l'Etat

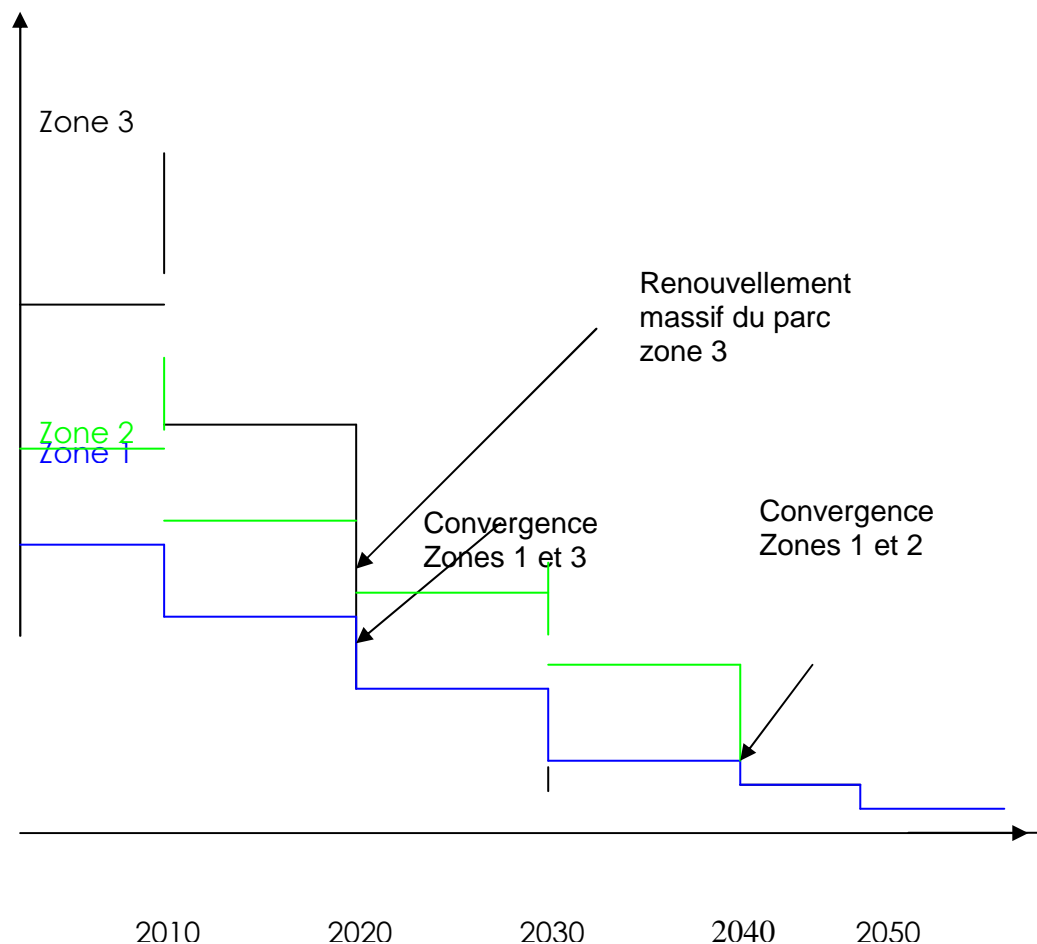
La première option est que l'objectif soit défini **au niveau de l'Etat**. Un tel objectif est pertinent lorsque l'Etat a des marges de manœuvre importantes pour réduire les émissions dans le secteur concerné. **L'objectif pourrait être contraignant ou non**. Si l'objectif est contraignant, l'Etat aurait l'obligation d'acheter des crédits s'il n'atteint pas l'objectif fixé. Un tel objectif paraît néanmoins difficilement acceptable aujourd'hui dans la grande majorité des pays en développement. C'est pourquoi un objectif non contraignant pourrait être plus réaliste. L'Etat gagnerait des crédits parce qu'il met en place des politiques de réduction des émissions dans le secteur. Il n'aurait pas à en acheter si les politiques n'ont pas eu l'effet escompté.

La principale difficulté de cette proposition est la **détermination du scénario de référence**, et donc de l'objectif pour le secteur. En effet, il est extrêmement difficile de projeter les émissions, même sectorielles, dans les pays en développement. **L'objectif pourrait être défini en absolu ou en intensité**. Un objectif absolu est fixé *ex ante*, avant la période d'engagement, en fonction des projections de croissance. **Un objectif en intensité est déterminé ex post en fonction du taux de croissance du secteur effectivement réalisé** ; ce type d'objectif pourrait être plus approprié dans les pays émergents au vu de la très forte croissance projetée de leurs productions. **La détermination de l'objectif ne pourrait résulter d'une démarche unilatérale de la part du pays**. Ce serait une procédure contradictoire précisant ce que le pays s'engagerait à faire en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique, d'introduction de nouvelles technologies, de protection de l'environnement local... L'élaboration de scénarios de référence sectoriels conduirait rapidement à une discussion sur les choix de développement des pays, sujet relativement sensible. Par exemple, la suppression ou la réduction des distorsions tarifaires existantes, et la prise en compte d'un niveau "raisonnable" de protection de l'environnement local pourraient être considérées comme faisant partie du scénario de référence.

La figure ci-dessous montre un exemple d'objectif sectoriel en intensité au niveau des Etats. On suppose que les Etats se sont vus fixer des engagements différents, car leurs performances actuelles sont très variables (dans la figure, il y a trois zones). Ils s'engageraient néanmoins à une convergence dans le futur. Ce point de convergence pourrait être différent selon les zones : les pays ont des possibilités de réductions fortes de leurs émissions les années où un fort renouvellement du parc industriel est attendu. C'est pourquoi dans l'exemple la zone 3 a le même objectif que la zone 1 dès 2020. En

revanche, la convergence avec la zone 2, n'est possible qu'en 2040. Les objectifs peuvent être contraignants ou non.

Niveau actuel des émissions par tonnes produites dans le secteur



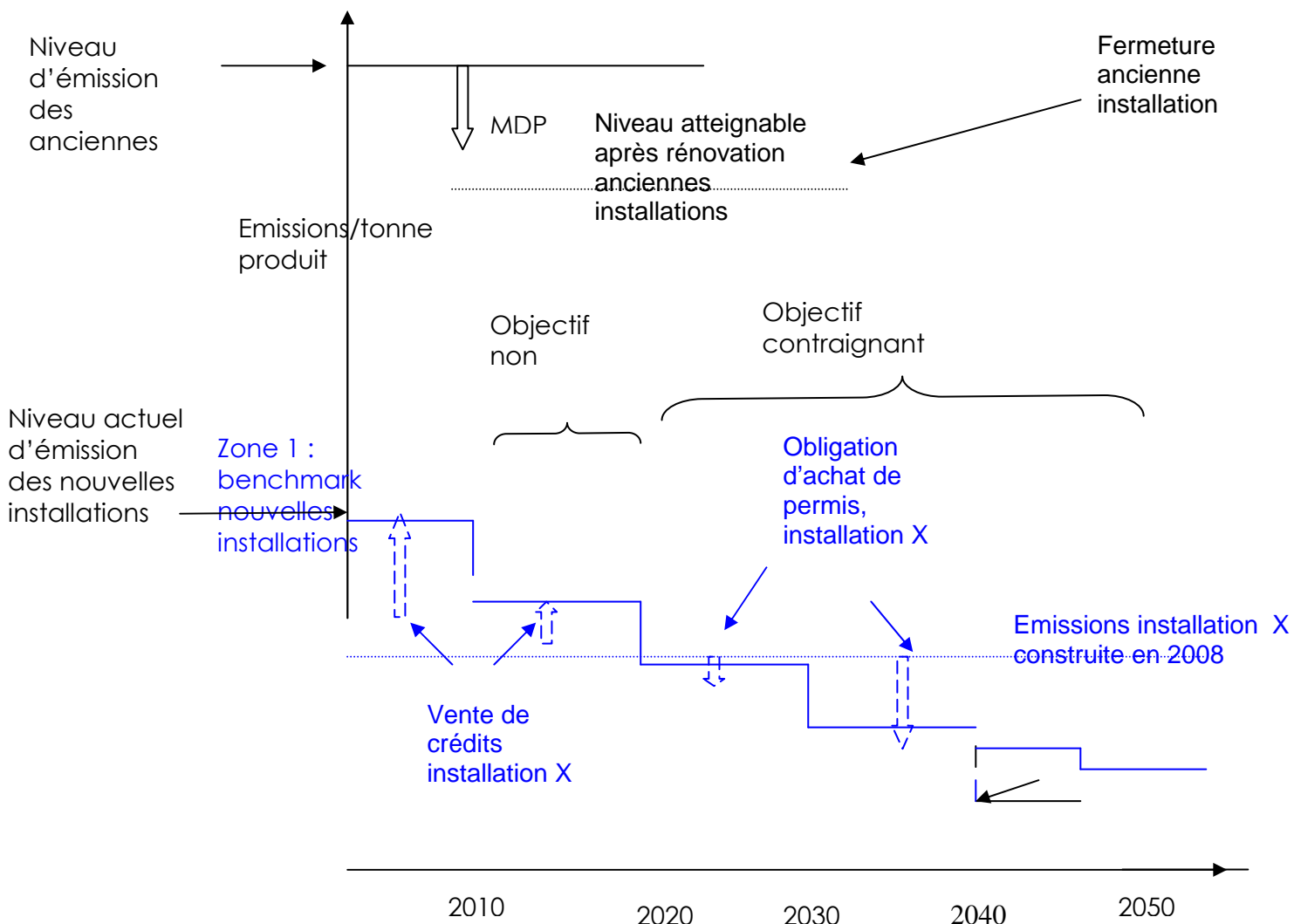
**La fixation d'un tel objectif sectoriel pourrait poser assez rapidement des problèmes de double compte**, similaires à ceux observés pour les projets de mise en œuvre conjointe dans le marché européen (voir annexe 2). Si l'objectif est absolu, **tous les projets MDP qui ont un impact direct ou indirect dans les secteurs couverts par l'objectif devront être interdits** pour empêcher ces doubles comptes. Si l'objectif est relatif, les projets ayant un impact direct devront être interdits, les projets ayant un impact indirect devront être examinés au cas par cas.

### **Objectif au niveau des industriels**

L'autre option est que les Etats se mettent d'accord au préalable **au niveau international** sur une règle d'allocation des émissions, de type **benchmark**, pour chaque secteur industriel concerné et que **l'objectif pèse ensuite directement sur les industriels**. Cette approche est construite dans la logique du MDP, qui vise directement le secteur privé. Il n'existe pas de traité international portant directement sur des secteurs industriels : par exemple un organisme comme l'OACI (organisation de l'aviation civile internationale) développe des standards mais ceux-ci sont ensuite mis en oeuvre par les pays. Le principe serait identique pour cette proposition : les Etats s'accorderaient au niveau international sur un (ou des) benchmark(s) et ils s'engageraient ensuite à reporter cette contrainte sur leurs industriels.

Le système de *benchmark* est une des évolutions actuellement envisagées dans le MDP : la définition d'un *benchmark* permet de s'affranchir de définir un scénario de référence, étape longue et fastidieuse lors du montage d'un projet MDP. Fixer le (ou les) *benchmark*(s) est délicat car il s'agit de maximiser la participation des acteurs susceptibles de réduire leurs émissions tout en minimisant le risque de générer des crédits pour des activités qui auraient lieu de toute façon. Avec un système de *benchmarking*, un projet industriel pourrait être validé dès qu'il émet moins que le *benchmark* même s'il se justifie par de strictes considérations économiques. A l'inverse, un projet améliorant une centrale très peu performante pour la passer à un niveau moyen, ne pourrait pas bénéficier de crédits si les émissions dépassent le *benchmark*. Le *benchmarking* n'élimine pas le risque de générer des crédits pour des projets qui auraient été financés de toute façon et ne peut pas non plus créditer tous les projets de réduction des émissions. La logique diffère par rapport à celle du MDP actuel : **l'objectif du benchmarking est de récompenser les bons élèves et de leur donner une incitation à devenir encore plus performants**. Ainsi par exemple, le MDP dans sa forme actuelle ne permet pas aux industriels de bénéficier de crédits pour la construction de nouvelles installations utilisant les meilleures technologies disponibles ; cela pourrait être possible avec un système de *benchmark*.

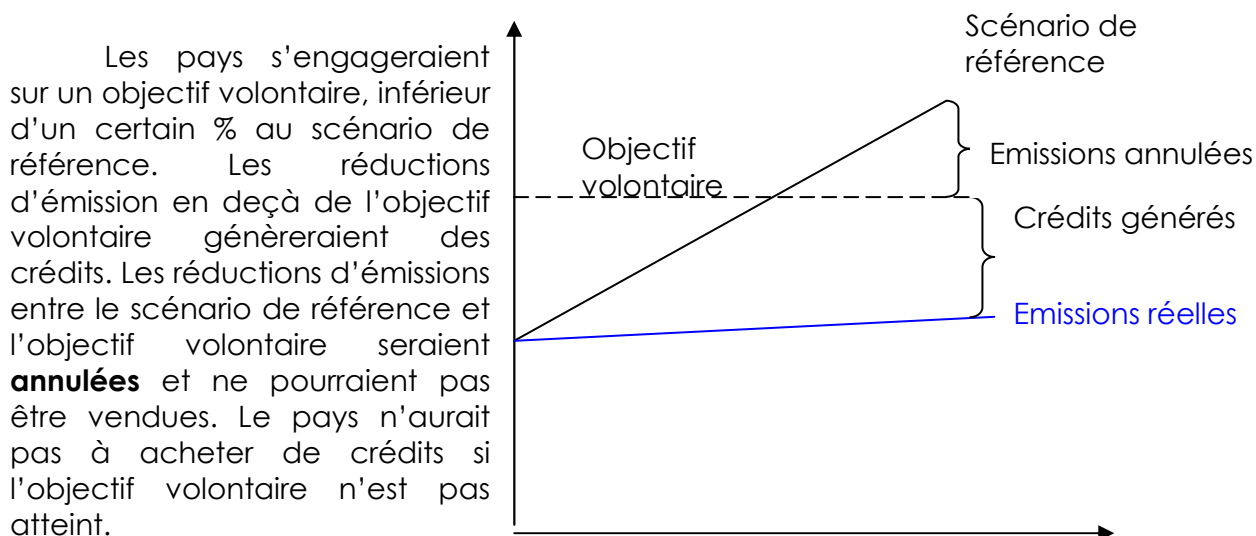
Là encore, l'objectif pourrait être contraignant ou non. Un objectif contraignant en intensité serait équivalent à un marché de permis relatif. Si un tel objectif était mis en place dans les pays en développement, cela réglerait une grande partie des inquiétudes actuelles de distorsion de concurrence. Un objectif contraignant paraît néanmoins difficile à négocier sur le court terme.



La figure ci-dessus montre un exemple d'objectif sectoriel en intensité au niveau des industriels. Le benchmark concerne les installations construites après 2010. Les anciennes installations (construites avant 2010) continuent à pouvoir bénéficier de crédits MDP pour des rénovations. Une nouvelle installation dont les émissions sont en dessous du benchmark peut bénéficier de crédits. Dans l'exemple pris, on suppose que les objectifs deviennent contraignants en 2020. Lorsque l'objectif devient contraignant, toutes les installations dont les émissions spécifiques sont au-dessus du benchmark doivent acheter des permis. On peut même imaginer qu'à partir de 2030 l'objectif devienne aussi contraignant pour les installations construites avant 2010, de façon à inciter au renouvellement de ces installations. Dans l'exemple pris, il n'y a qu'un seul benchmark mais on pourrait développer plusieurs benchmarks en fonction des zones géographiques si des facteurs physiques justifient un traitement différencié des différentes zones.

### **Exemple d'objectif au niveau des Etats : Proposition de CCAP**

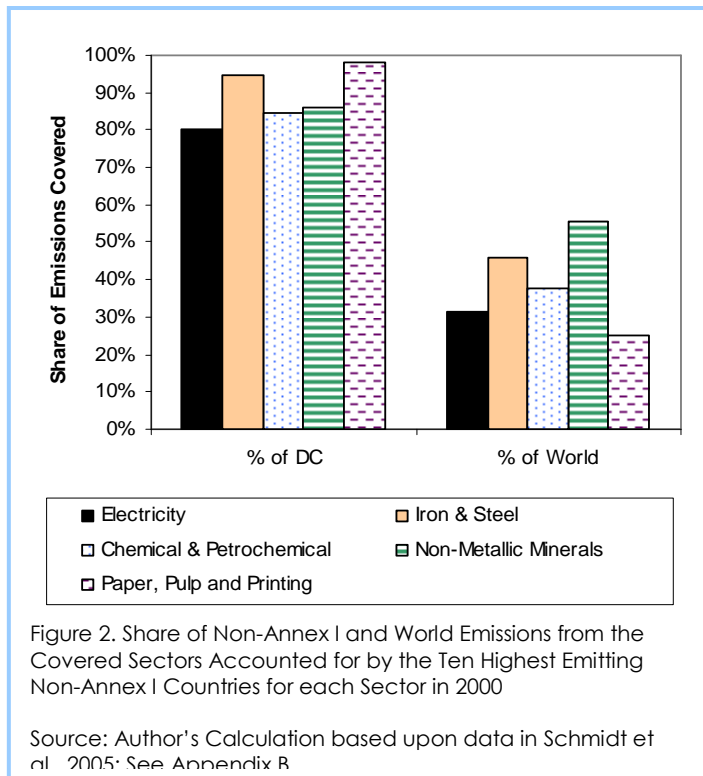
Un think tank américain, le *center for clean air policy* (CCAP), a été très actif sur la question des objectifs sectoriels ces dernières années, il a mené depuis 2-3 ans des consultations avec des négociateurs des pays développés et en développement sur la faisabilité des approches sectorielles. **La proposition qui résulte de ces consultations est que les pays en développement prennent un engagement non contraignant en intensité (émissions/ tonnes de produit) pour un certain nombre de secteurs, c'est à dire un engagement à l'échelle de l'Etat.** Les réductions d'émissions seraient déterminées ex post quand le niveau de production réalisé serait connu.



Les réductions d'émissions seraient **données à l'Etat**, le gouvernement de chaque pays déciderait ensuite comment redistribuer ces crédits aux industriels concernés.

Le taux d'émission de référence par secteur serait basé sur **la meilleure technologie disponible dans chaque grand secteur d'activité** (acier, ciment..) avec un niveau différent selon que les unités sont nouvelles ou existantes. Il serait mis à jour tous les 7 ans. **Le taux d'émission spécifique serait ensuite fixé pays par pays par des négociations** qui examineraient les coûts, le contenu en carbone, le mix énergétique du pays et le mix d'installations nouvelles et existantes. **Le benchmark final sera donc différent pour chaque pays mais basé sur le même point de départ (meilleure technologie disponible).** Pour l'électricité, le benchmark serait déterminé à partir des meilleures technologies pour la chaleur et ensuite négocié en gaz à effet de serre /kwh en fonction des mix en combustible et de la qualité des combustibles.

**Les secteurs couverts seraient le ciment, la chaux, les raffineries, l'acier, l'aluminium, le papier et l'électricité.** Seules les émissions directes seraient couvertes. En 2000, ces secteurs représentaient **15 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre** et 32,2 % des émissions de gaz à effet de serre des pays non annexe 1.



Le programme vise à inclure la majorité des pays en développement et en particulier les 10 pays avec les émissions les plus élevés dans chaque secteur. Pour éviter les fuites, il est nécessaire qu'un nombre suffisant de pays soit couvert. Si seuls les industriels dans les 10 pays en développement les plus émetteurs sont concernés, 17 % des émissions non annexe 1 seraient couvertes. Dans chaque secteur, 80 % et 90 % des émissions non annexe 1 seraient couvertes.

**Figure 1 : Part des émissions des pays en développement et mondiales couvertes si les 10 pays les plus émetteurs dans chaque secteur sont inclus (source CCAP)**

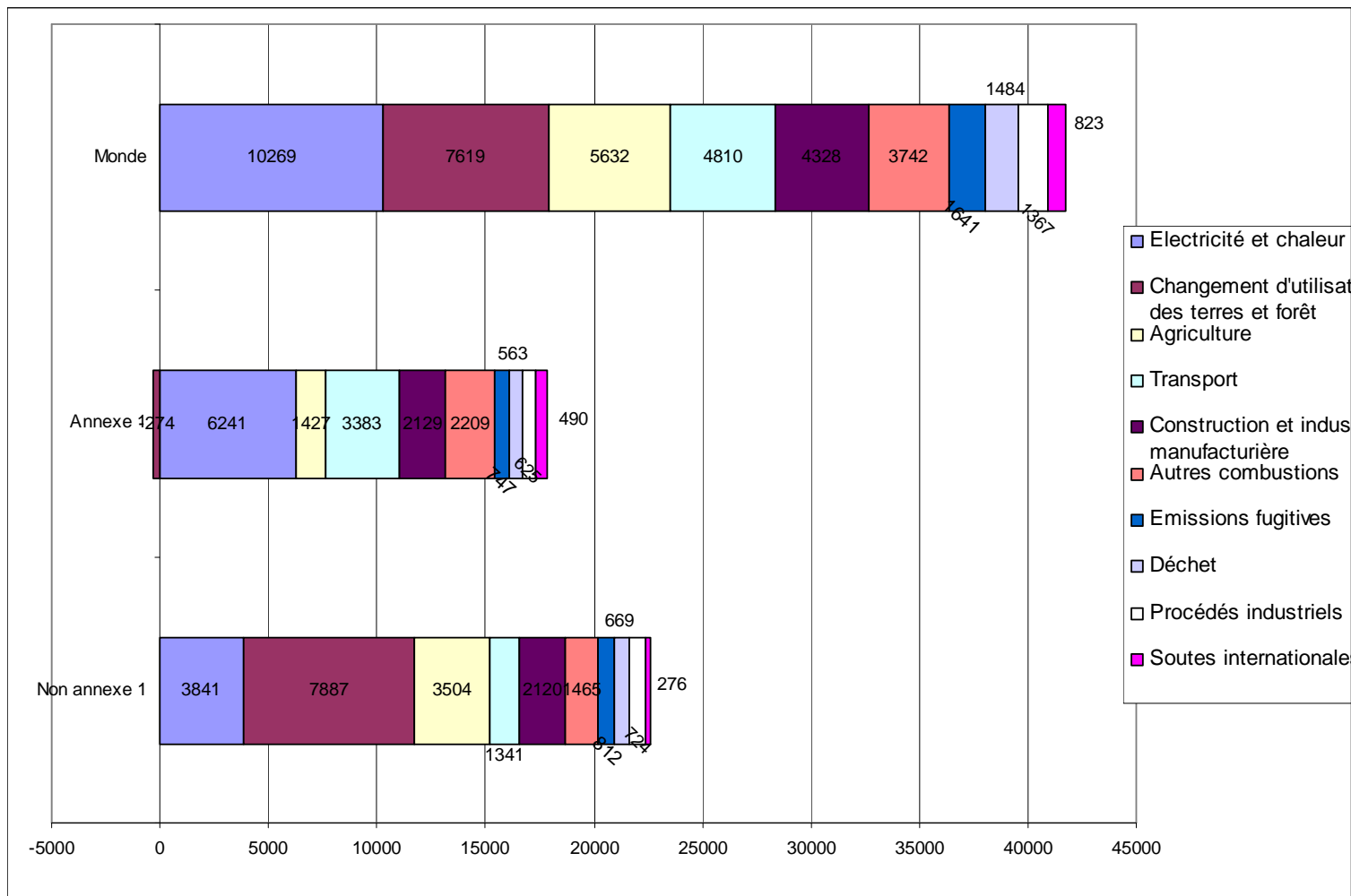
Pour inciter les pays à prendre de tels engagements, les pays développés offriraient en parallèle de l'assistance et du renforcement de capacité, des transferts de technologies. Il y aurait un programme de financement de technologies avec des installations de démonstration (par exemple des installations IGCC avec CCS), la mise en place d'un fonds de financement avec la Banque mondiale ou les agences d'exportations crédits, des prêts...



### III. Analyse par secteur

#### 1. Les enjeux par secteurs

Les secteurs les plus émetteurs **au niveau mondial** en 2000 sont l'électricité et la chaleur (24,6 % des émissions mondiales), l'industrie (21,1 %), le changement d'utilisation des terres et la foresterie (18,2 %), les transports (13,5 %) et l'agriculture (13,5 %).



**Figure 2 : Part des différents secteurs dans les émissions mondiales, les émissions des pays annexe 1 et non annexe 1 en 2000 (source : WRI)**

Dans les pays en développement (PED) ou pays « non annexe 1 », les secteurs les plus émetteurs en 2000 sont le secteur du changement d'utilisation des terres et de la foresterie (19 %), l'électricité et la chaleur (9 %), l'agriculture (8 %), l'industrie (5 %). Les secteurs **en plus forte croissance** au niveau mondial entre 1990 et 2002 sont l'électricité, l'industrie puis les transports. La tendance est la même dans les PED. (voir annexe 3).

On se concentre dans cette partie sur les secteurs de la production d'électricité, l'industrie et sur les transports, secteurs avec les plus gros enjeux quantitatifs mais aussi les vrais enjeux de distorsion de concurrence.

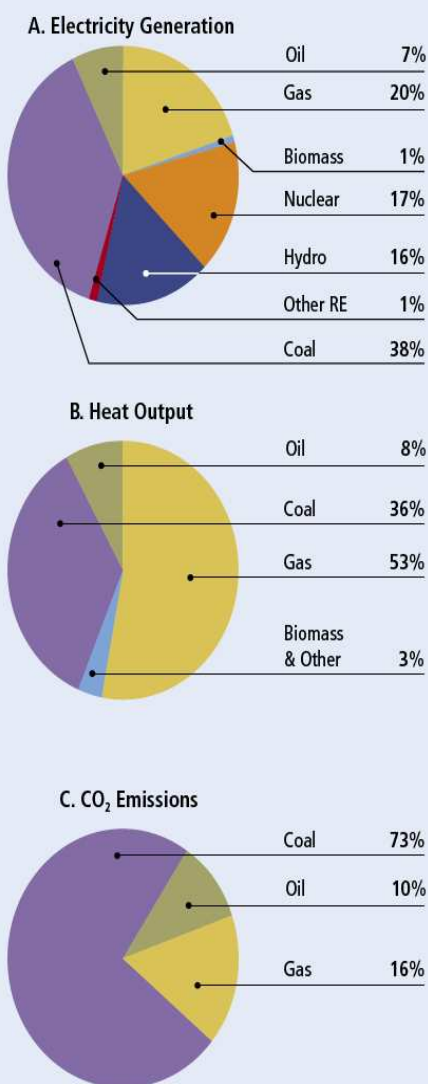
## 2. Production d'électricité et de chaleur

### 2.1. Émissions mondiales liées à la production d'électricité et de chaleur

Le secteur de l'électricité et de la chaleur a émis 10 731 MteCO<sub>2</sub> en 2002, ce qui représente 25 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre et 32 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. Les pays annexe 1 étaient responsables de 58,7 % de ces émissions (6 309,3 MteCO<sub>2</sub>) et les pays non annexe 1 de 39,3 % (4 220,1 MteCO<sub>2</sub>).

Ces émissions se répartissent en 68 % pour la production d'électricité, (qui représente 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre), 15,6 % pour la chaleur (qui représente 5 % des émissions mondiales), et le reste pour les autres industries énergétiques (environ 3 % des émissions mondiales).

Figure 11.4. Electricity and Heat Shares by fuel



Sources & Notes: WRI, based on IEA, 2004a,b. Electricity generation and heat output are based on gigawatt hours and terajoules, respectively. CO<sub>2</sub> emissions include electricity and heat.

**Plus de 40 % de l'électricité produite est consommée dans les bâtiments** (dont 23 % dans les bâtiments résidentiels et 19 % dans les bâtiments commerciaux et publics.)

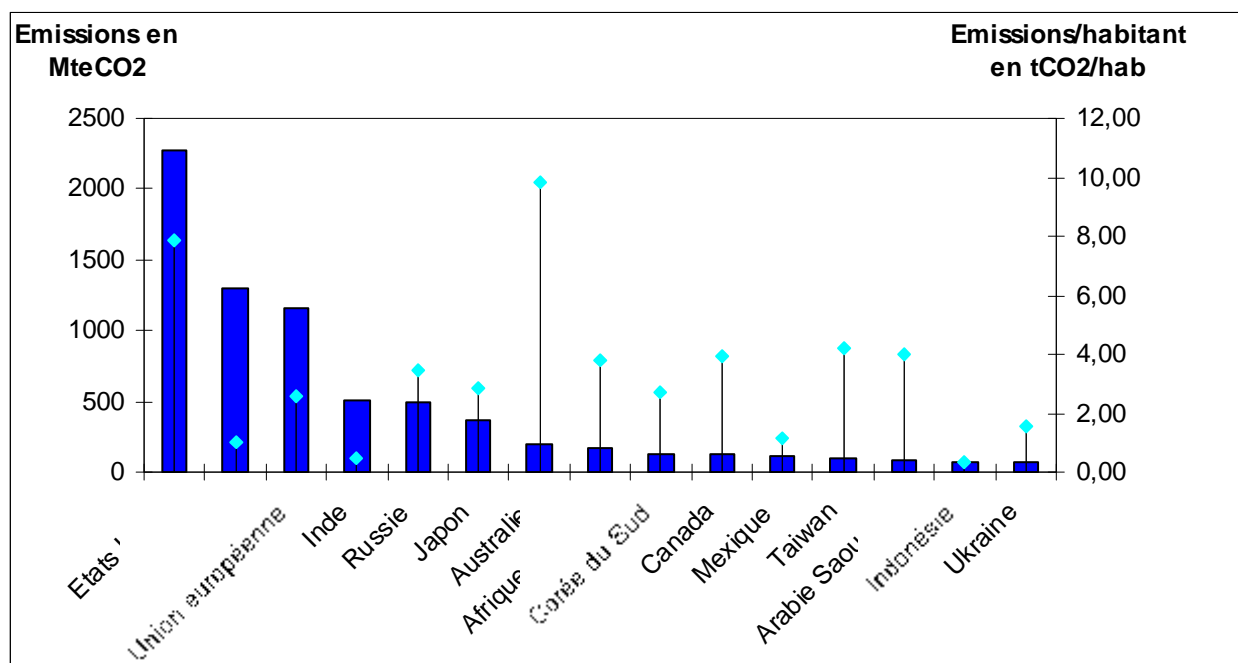
**35 % de l'électricité est consommée par l'industrie.** 9 % de l'électricité est consommée pour la production d'énergie et les procédés (comme le raffinage) et le même montant est perdu dans la transmission et la distribution. L'agriculture consomme 2,3 % de l'électricité produite et le transport 1,4 % (via le transport ferroviaire)

**Le mix énergétique est le principal déterminant du niveau des émissions dans le secteur de l'électricité.** Au niveau mondial, l'électricité est produite à 38 % à partir du charbon, 20 % à partir de gaz, 17 % du nucléaire et 16 % de l'hydroélectricité.

**Figure 3 : Part des combustibles dans la production d'électricité et de chaleur et les émissions en 2004 (source : WRI)**

## 2.2. Répartition des émissions par pays

En absolu, le premier émetteur du secteur est les Etats-Unis (2 274,1 MteCO<sub>2</sub>), suivi par la Chine (1 306,4 MteCO<sub>2</sub>), l'Union européenne des 25 (1 164 MteCO<sub>2</sub>) et l'Inde (504,8 MteCO<sub>2</sub>).



**Figure 4 : Emissions liées à la production d'électricité et de chaleur publics par pays en 2002, en absolu et par habitant, (source : WRI)**

	MteCO <sub>2</sub> en 2002	tCO <sub>2</sub> /hab	% changement entre 1990 et 2002	% croissance projetée entre 2002 et 2020
États-Unis	2274	7,89	26	23
Chine	1306	1,02	147	104
Union européenne (25)	1164	2,56	1	26
Inde	504	0,48	119	83
Russie	497	3,46	-17	18
Japon	360	2,83	24	
Australie	194	9,86	53	19
Afrique du Sud	171	3,78		
Corée du Sud	127	2,68	203	

<b>Canada</b>	123	3,94	39	
<b>Mexique</b>	114	1,14	75	65
<b>Taiwan</b>	94	4,19		
<b>Arabie Saoudite</b>	87	3,98		
<b>Indonésie</b>	77	0,37	120	149
<b>Ukraine</b>	75	1,56		
<b>MONDE</b>	<b>8219</b>		<b>66</b>	<b>51</b>

**Tableau 1: Production d'électricité et de chaleur en 2002, tendances et projections (source : WRI)**

La

Figure 4 montre par ailleurs que les **émissions par habitant** liées à la production d'électricité varient énormément d'un pays à l'autre : elles sont très élevées en Australie (9,89 tCO<sub>2</sub>/hab) et aux Etats-Unis (7,89 tCO<sub>2</sub>/hab). A l'inverse, elles sont très faibles en Chine (1,02 tCO<sub>2</sub>/hab) et en Inde (0,48 tCO<sub>2</sub>/hab). En Europe, elles sont de 2,56 tCO<sub>2</sub>/hab.

### 2.3. Projections de croissance de la production

**La croissance du secteur de la production d'électricité a été de 3,4 % par an entre 1973 et 2002.** La croissance a été particulièrement forte dans les pays hors OCDE (4,7 % par an). **La demande en électricité est très liée à la croissance économique.**

Au niveau mondial, l'AIE projette que la croissance du secteur sera de 2,7 % par an : la demande devrait doubler entre aujourd'hui et 2030. La croissance devrait être particulièrement forte en Chine (5 % par an) et en Inde (4,7 % par an). Les émissions doubleraient en Chine d'ici 2020 et quasiment en Inde pour atteindre respectivement 3200 MteCO<sub>2</sub> et 980 MteCO<sub>2</sub> en 2020. (Cela ne veut pas dire que ces pays ne font pas d'efforts pour réduire leurs émissions : selon CCAP, les politiques prises entre 2000 et 2005 en Chine (développement du nucléaire et des renouvelables et efficacité énergétique) devraient permettre une réduction de 1246 MteCO<sub>2</sub> des émissions en 2025 !!)

Selon la Banque mondiale, le besoin d'investissement dans le secteur de l'énergie dans les pays en développement serait de l'ordre de 165 milliards d'euros par an. Or il en manquerait actuellement la moitié (80 milliards)<sup>7</sup>. C'est aussi un enjeu environnemental car l'expérience a montré que les pays relâchent les contraintes environnementales pour accélérer le rythme de construction de nouvelles centrales lorsque le rythme des coupures d'électricité augmente. En Chine, le rythme actuel de construction de centrales de production électrique ou de bâtiments est effarant : à dire d'expert, on construit une centrale électrique par semaine actuellement. Le coût supplémentaire pour développer les technologies propres dans le secteur de l'électricité est estimé à **30 milliards par an** par la Banque mondiale.

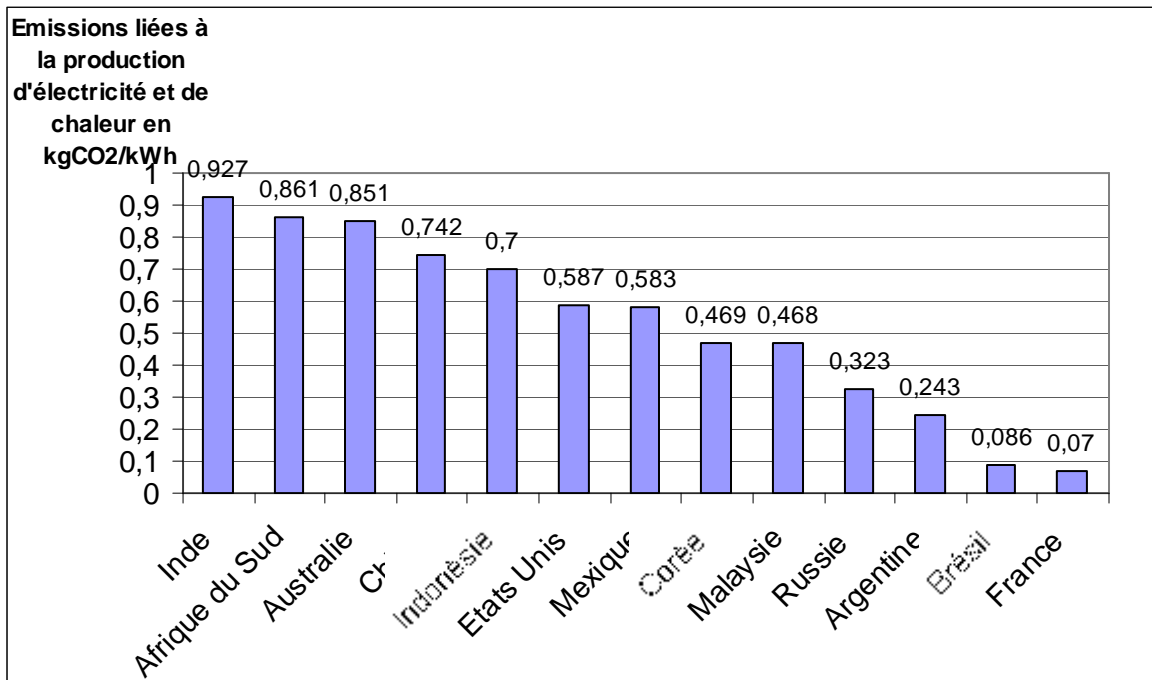
Les centrales à charbon étaient responsables de ¼ des émissions en 2000. L'AIE projette que 1391 GW seront construits d'ici à 2030. Par un calcul grossier, CCAP estime qu'une centrale au charbon de 500 MW génère 4 MteCO<sub>2</sub> d'émissions par an, soit 241 MteCO<sub>2</sub> sur une durée de vie estimée de 60 ans. Cela implique que ces 1391 GW de

<sup>7</sup> Banque mondiale, Clean energy and development: towards an investment framework, Avril 2006

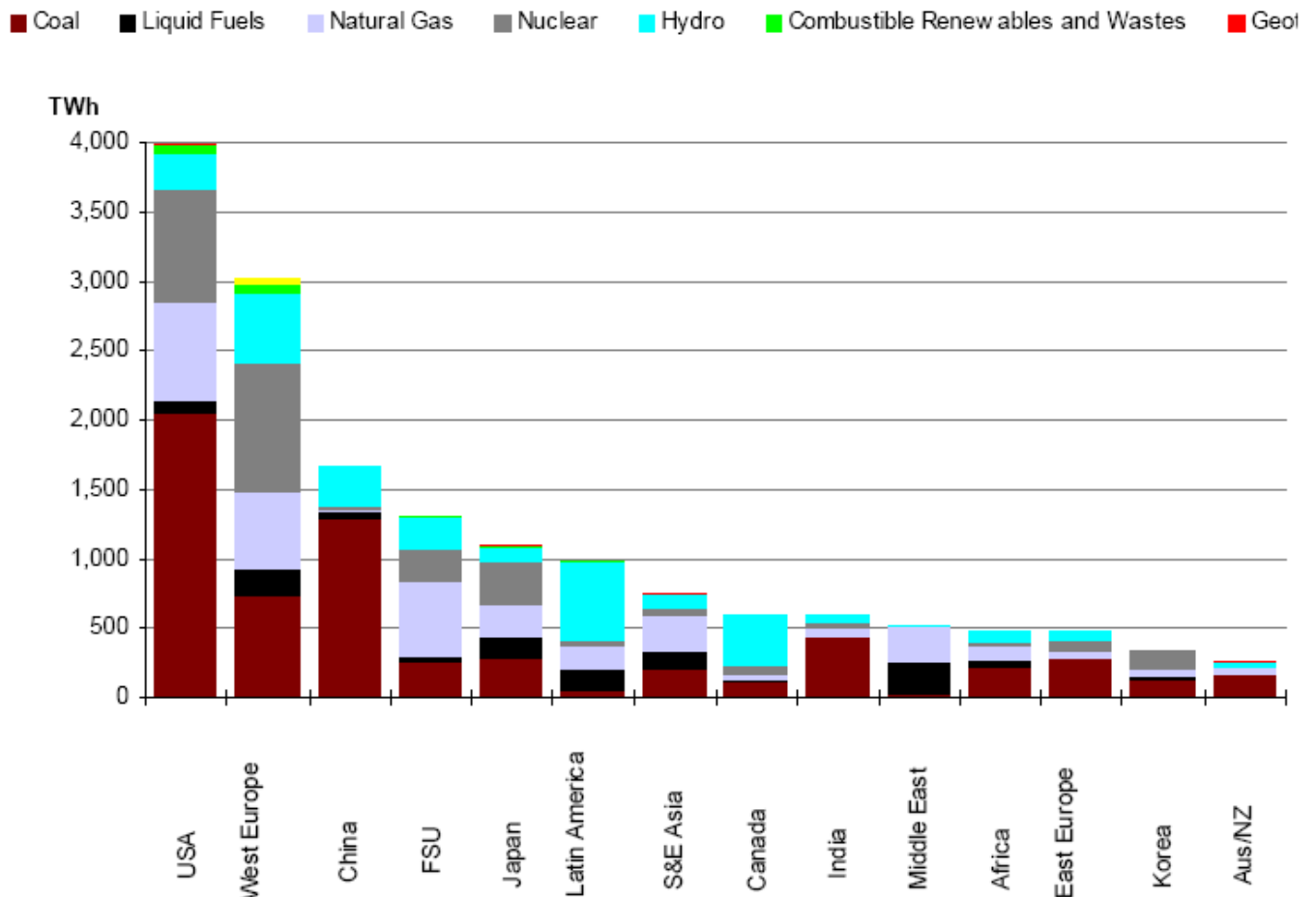
centrales qui devraient être construites seront responsables de l'émission d'environ 673 GteCO<sub>2</sub>. Cela représente 33 % du budget d'émission mondial d'ici 2030 pour une stabilisation à 450 ppmv et 21 % du budget d'émission pour une stabilisation à 550 ppmv. L'enjeu est très clair : il faut que ces investissements soient les plus propres possibles. C'est d'autant plus important que les centrales électriques de production de charbon ont une durée de vie extrêmement longue.

#### 2.4. Comparaison des performances par pays

Le Figure 5 montre les différences d'émissions de CO<sub>2</sub> par kWh produit dans 13 pays. Ces différences s'expliquent principalement par **les différents mix énergétiques des pays** (voir Figure 6). L'Inde, l'Afrique du Sud, l'Australie, et la Chine sont les plus émetteurs du fait que l'essentiel de la production d'électricité provient du charbon. La France et le Brésil sont les moins émetteurs, grâce à l'électricité nucléaire pour la première et l'hydroélectricité pour le second.



**Figure 5 : Emissions liées à la production d'électricité et de chaleur par pays ramenées au kWh produit (source : Bosi et Ellis)**



**Figure 6 : Mix énergétique en 2002 dans les principaux pays (source : Watson)**

L'autre facteur est **la technologie** (voir Tableau 2): **le rendement des centrales** à charbon en Inde est parfois de seulement 20 % alors que les nouvelles centrales à charbon ont des rendements compris entre 34 et 36 % et que les centrales supercritiques ont des rendements supérieurs à 40 % (il y a plus de 400 installations supercritiques dans le monde, y compris en Chine et en Inde). **2/3 des centrales au charbon dans le monde ont plus de 20 ans et ont un rendement de 29 %**. De même pour le gaz, certaines centrales ont des rendements inférieurs à 25 % alors que les centrales combinées au gaz les plus récentes ont des rendements supérieurs à 50 % (Ellis et Baron). Le tableau 3 montre les différences de rendements entre pays.

	Charbon			Pétrole			Gaz		
	Entrée d'énergie	Quantité d'élec produite	efficacité	Entrée d'énergie	Quantité d'élec produite	efficacité	Entrée d'énergie	Quantité d'élec produite	efficacité
	MtOE	TWh	%	MtOE	TWh	%	MtOE	TWh	%
États-Unis	479	1886	34	27	120	39	97	438	39
Reste de l'amérique	32	141	38	26	110	37	18	75	37
UE	147	648	38	26	116	38	52	300	50
Reste de l'Europe	23	85	32	26	116	38	52	300	50
Russie	2	8	31	3	6	19	19	35	16
Japon	52	239	40	22	117	45	46	257	48
Australie, Nouvelle Zélande	74	270	31	6	26	39	11	52	42
Chine	289	1141	34	8	33	34	1	5	35
Reste de l'Asie	167	573	30	29	124	37	53	237	38
Afrique	51	207	35	11	48	39	25	105	37
Amérique du Sud	5	19	34	17	68	34	20	89	39
Moyen Orient	7	33	39	45	207	39	55	223	35
<b>Total</b>	<b>1324</b>	<b>5250</b>	<b>34</b>	<b>224</b>	<b>994</b>	<b>38</b>	<b>404</b>	<b>1864</b>	<b>40</b>

**Tableau 2 : Quantité de combustibles pour la génération d'électricité, efficacité par grandes régions**

### 2.5. Potentiel de réduction

Watson (2005)<sup>8</sup> effectue une modélisation sur le sous secteur de la production d'électricité à partir de charbon qui représente 70 % des émissions du secteur de l'électricité et de la chaleur. Selon ses travaux, si tous les pays s'engagent à réduire leur intensité en CO<sub>2</sub> de ce sous secteur de 30 % tous les 15 ans à partir de 2005, les émissions seraient réduites de 2 064 MteCO<sub>2</sub> en 2050 par rapport au scénario tendanciel.

Les travaux de CCAP (2006) montrent que les émissions en Chine pourraient être réduites de 69 MteCO<sub>2</sub> en 2020 pour un coût de réduction à moins de 10 \$/tCO<sub>2</sub> par des mesures d'efficacité énergétique chez les particuliers et dans la production de charbon. Cela correspond à une réduction de -2 % par rapport à la référence. L'intensité CO<sub>2</sub> en 2020 diminuerait de 0,77 Mt CO<sub>2</sub>/MWH à 0,75 MtCO<sub>2</sub>/MWH. En Inde, les émissions en 2020 pourraient être réduites de 81 MteCO<sub>2</sub> pour un coût négatif à la tonne de CO<sub>2</sub> par le développement du nucléaire et des énergies renouvelables. L'intensité CO<sub>2</sub> en 2020 diminuerait de 0,51 MtCO<sub>2</sub>/MWH à 0,47 MtCO<sub>2</sub>/MWH.

### 2.6. Concurrence internationale

Le secteur de l'électricité est peu soumis à la concurrence internationale. **Seulement 3 % de l'électricité est échangée à travers les frontières et il n'y a aucun échange de chaleur.** Les échanges d'électricité ont lieu essentiellement en Europe et Amérique du Nord. Bien que les flux soient très faibles, certains pays africains sont très dépendant des importations d'électricité. En 2002, les pays qui importaient le plus d'électricité, en % de leur consommation énergétique, étaient le Luxembourg, le Bénin, le

<sup>8</sup> *Can transnational sectoral agreements help reduce greenhouse gas emissions?* Watson, C, Newman J, Upton RHS, hackmann P, Round table on sustainable development. OCDE.

Togo, le Mozambique, le Congo, la Lituanie, la Suisse, la Namibie, la Moldavie et la Lettonie.

Le prix de l'électricité a cependant des implications en termes de concurrence internationale pour les industries électro-intensives comme l'aluminium.

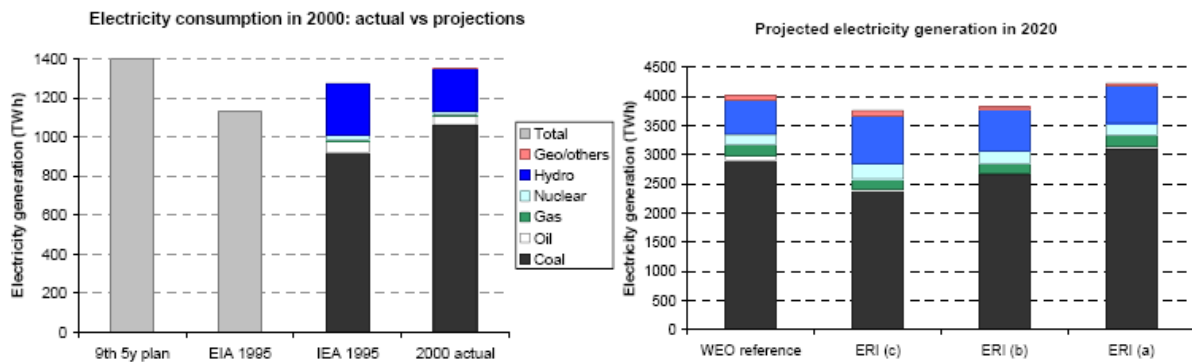
## 2.7. Quelle forme d'objectif sectoriel pour la production d'électricité ?

L'idée d'établir des mécanismes sectoriels vient du besoin d'établir des règles concurrentielles internationales. Dans la mesure où **le secteur de l'électricité est peu soumis à la concurrence internationale**, un accord sectoriel avec des objectifs similaires dans tous les pays n'apparaît pas légitime. Le secteur de la production d'électricité est néanmoins **le secteur avec le plus gros enjeu quantitatif**, il est donc urgent de développer des instruments pour inciter le développement et l'adoption des technologies les plus propres dans ce secteur.

### Objectif sectoriel au niveau du pays

Agir au niveau national est pertinent dans le secteur de la production d'électricité car les Etats ont des marges de manœuvre importantes pour réduire leurs émissions.

La fixation d'un objectif sectoriel pose néanmoins la question de la fiabilité des projections d'émission dans le secteur électrique. La Figure 7 fait ressortir les incertitudes sur les projections de croissance en Chine pour la production d'électricité à l'horizon 2020 (figure gauche). La figure droite montre aussi la différence entre les projections d'émissions pour 2000 réalisées en 1995 et les émissions réelles : selon les projections en 1995, la production d'électricité en Chine aurait du être comprise entre 1008 et 1262 TWh. Or, elle a été largement supérieure.



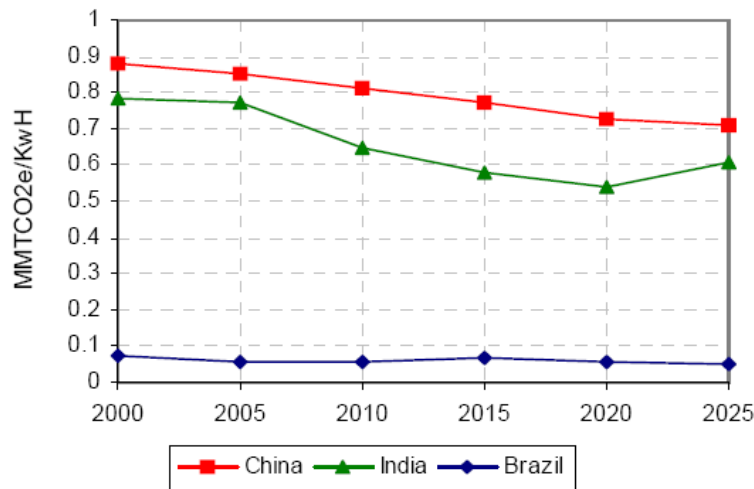
Sources: EIA 1995, IEA 1995, IEA 2004 and 2004c, ERI 2004

**Figure 7 : Différences entre les projections présentes et futures de production d'électricité en Chine en 2000 et 2020 (source : Ellis et Baron)**

C'est pourquoi un **objectif national en intensité** paraît plus adapté sur la production d'électricité. Un pays qui diminuerait ses émissions en dessous de l'objectif pourrait bénéficier de crédits d'émissions. Les différences d'émissions au kWh produit par pays sont telles qu'il serait impossible de mettre en place un seul benchmark mondial en tCO<sub>2</sub>/kWh. Pour chaque pays, l'objectif national pourrait être calé sur les émissions au kWh actuelles du pays avec un facteur de progrès. Cela reviendrait de fait à acter une situation de droit acquis (droits du grand père) : les pays qui sont aujourd'hui les plus polluants auraient les scénarios de référence les plus élevés.



La Figure 8 montre l'évolution projetée des émissions au KWh en Chine, Inde et Brésil d'ici 2025. Elle fait ressortir que les émissions en intensité sont sur une tendance décroissante. L'objectif sectoriel de ces Etats devrait aller au-delà de ces projections.



**Figure 8 : Evolution projetée des émissions/KWh en Chine, Inde et Brésil d'ici 2025, en prenant en compte les politiques récentes (source : CCAP, 2006)**

Le pays pourrait reporter son objectif sur ses industriels via un marché de permis. Il pourrait aussi simplement bénéficier de crédits pour des investissements importants comme le développement de terminaux gaziers ou encore pour des mesures comme **la suppression des subventions** ou la libéralisation des marchés de l'électricité.

Si cette approche est retenue, les projets MDP sur l'efficacité énergétique ou les énergies renouvelables risquent d'entraîner des doubles comptes. Ces projets se sont beaucoup développés : les projets sur l'énergie renouvelable (biomasse, hydroélectricité, éolien, solaire, biogaz) représentaient plus de la moitié des projets MDP en cours de montage (794 projets) au 01 décembre 2006. Si l'objectif est absolu, tous ces projets devront être interdits. Si l'objectif est en intensité (en tCO<sub>2</sub>/KWh), les projets MDP sur l'efficacité énergétique ne posent pas de problème puisqu'ils réduisent la consommation d'électricité et non l'intensité des émissions. En revanche, les projets sur l'énergie renouvelable devront être interdits car ils font baisser l'intensité des émissions. (L'Etat serait heureusement toujours libre de redistribuer les crédits qu'il aura reçu aux producteurs d'énergie renouvelable, via par exemple un tarif de rachat.)

#### Objectif sectoriel au niveau des industriels

Alternativement, on pourrait développer un benchmark mondial pour les producteurs d'électricité. Les pays qui comptent se développer à partir du charbon (Inde, Chine) demanderaient vraisemblablement la mise en place de benchmarks différenciés par combustibles (charbon, pétrole, gaz). La différenciation par combustibles n'est optimale ni du point de vue économique ni du point de vue environnemental puisqu'une des voies les plus importantes pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> est de substituer le charbon au gaz. Néanmoins, une telle approche, outre qu'elle serait plus acceptable pour les pays charbonniers, pourrait encourager les pays à investir dans les centrales à charbon les plus performantes.

Le benchmark serait a priori calé sur les meilleures technologies disponibles, de façon à donner une incitation à la construction de nouvelles centrales très performantes. Néanmoins, il pourrait être aussi nécessaire de développer un benchmark pour les centrales existantes car les centrales de production électrique ont une durée de vie extrêmement longue. Un tel benchmark serait néanmoins difficile à caler : s'il est trop élevé, il n'y aurait pas d'incitation à s'attaquer aux rénovations et amélioration d'installations existantes. S'il ne l'est pas assez, il existe un fort risque de générer des montants de crédits très élevés.

Le benchmark pourrait être contraignant ou non. Un benchmark contraignant permettrait d'impliquer tous les électriciens des pays en développement. Néanmoins, il paraît peu probable que les pays en développement acceptent un tel benchmark dès aujourd'hui. Un benchmark contraignant pourrait progressivement s'imposer pour les nouvelles constructions, cela garantirait que toutes les centrales construites dans les grands émergents utilisent les meilleures technologies disponibles. En revanche, un benchmark contraignant sur les centrales existantes paraît difficilement négociable sur le court terme. Les centrales de production d'électricité les moins performantes sont souvent situées dans les pays les plus pauvres. Un pays comme l'Inde par exemple ne pourra accepter un objectif contraignant sur ses centrales existantes que si l'objectif prend en compte son retard technologique et la disponibilité d'un combustible local de mauvaise qualité (charbon à haut contenu en soufre et en cendre) qui rend plus difficile la réduction des émissions. Il y a donc un risque important de compliquer grandement le dispositif avec une **multiplication du nombre de benchmarks**, ou tout simplement de ne pas arriver à un accord. Un benchmark contraignant ne paraît donc pas réaliste pour les installations existantes, même sur le moyen terme. Dans un premier temps, le MDP pourrait suffire à donner une incitation aux rénovations.

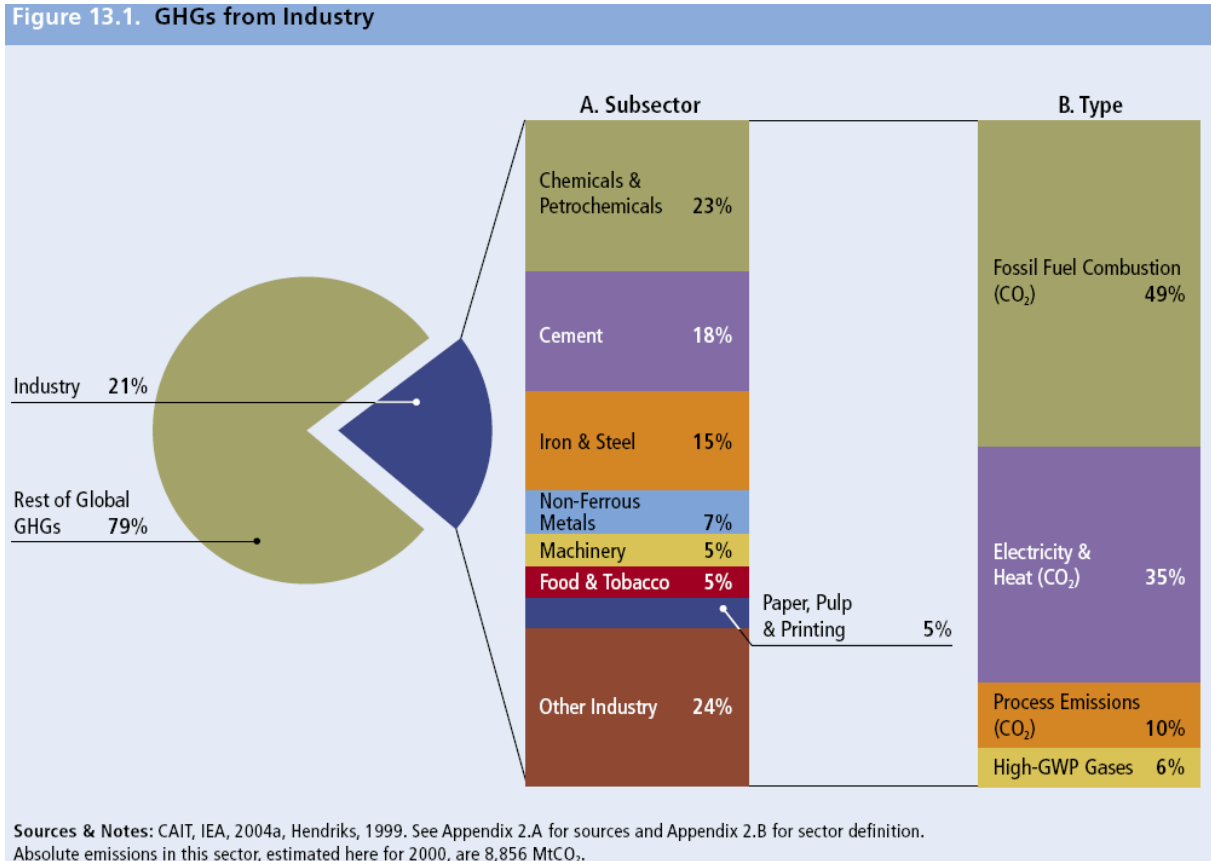
Certains pays pourraient demander que le benchmark défini au niveau international s'applique aussi à la production d'électricité à partir de sources renouvelables. Une telle proposition poserait rapidement un problème d'échelle : les pays développés ne peuvent pas financer l'intégralité des investissements dans les énergies renouvelables dans les pays en développement.

**Pour conclure, le secteur électrique représente un enjeu quantitatif énorme et il est urgent d'agir dans ce domaine. Une approche sectorielle au niveau des Etats pourrait être intéressante pour inciter les Etats à faire évoluer leur mix énergétique par des politiques et mesures ou de gros investissements dans le domaine de la production d'électricité. L'autre approche à explorer sérieusement est de faire évoluer le MDP vers un système de benchmarks.** La proposition de benchmarks contraignants ne paraît pas crédible politiquement à court terme, surtout concernant les centrales existantes. Enfin, il est important de rappeler que les deux approches proposées (à l'échelle de l'Etat et des industriels) ne peuvent être superposées dans un même pays car se poseraient alors des problèmes de double compte.

### 3. Industrie

#### 3.1. Emissions mondiales liées à l'industrie

Les émissions de gaz à effet de serre de la construction et du secteur manufacturier représentaient **21 % des émissions mondiales en 2000**, qui proviennent à 49 % de la combustion directe de combustibles fossiles, 35 % des émissions indirectes liées à la consommation d'électricité et de chaleur, 10 % des émissions de procédés et 6 % des émissions de gaz autres que le CO<sub>2</sub>, à fort potentiel de réchauffement.

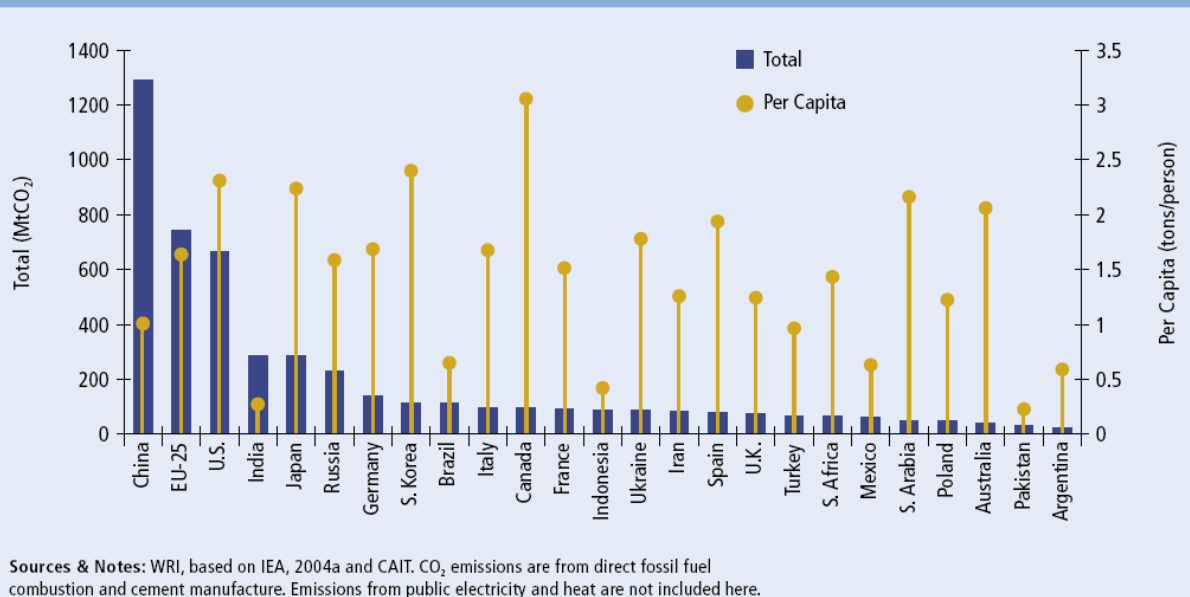


**Figure 9 : Emissions de gaz à effet de serre de l'industrie (source : WRI)**

Les émissions de l'industrie se répartissent en 23 % pour le secteur de la chimie et la pétrochimie, 18 % pour le secteur du ciment, 15 % pour le secteur du fer et de l'acier, 7 % pour les métaux non ferreux et 5 % pour le papier et la pâte à papier.

### 3.2. Répartition des émissions par pays

**Figure 13.3. CO<sub>2</sub> from Industry, Total and Per Capita, 2002**  
Top 25 GHG emitters



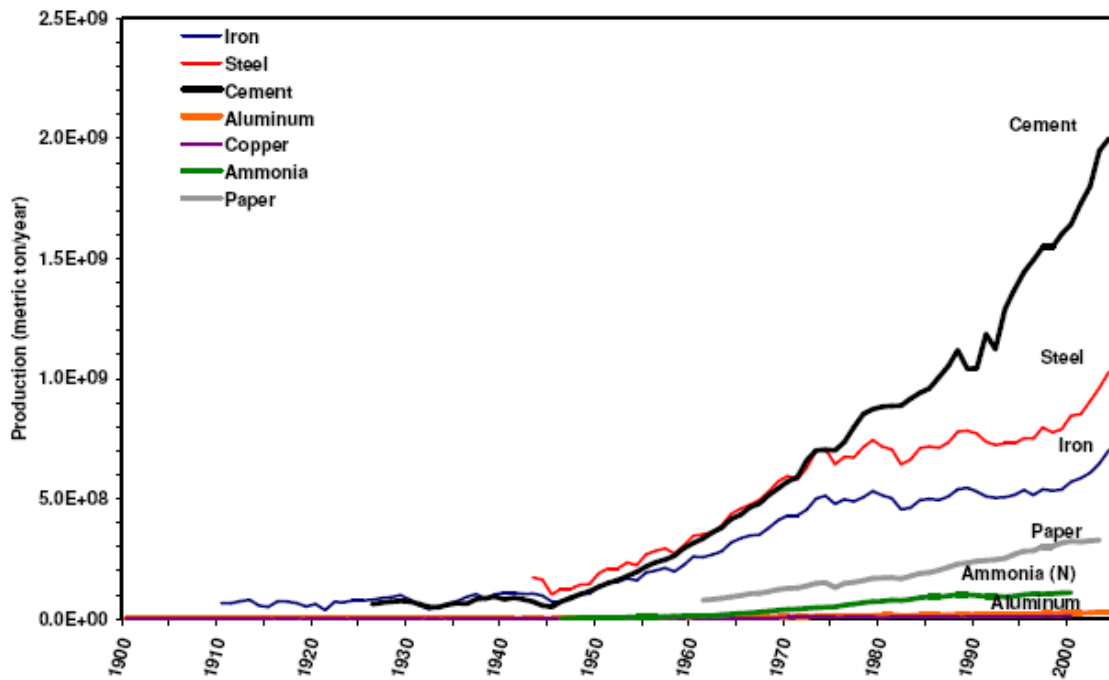
**Figure 10 : Répartition des émissions de l'industrie par pays et par habitant (source : WRI)**

**Les 5 premiers émetteurs mondiaux sont responsables de 62 % des émissions mondiales** et les 10 premiers émetteurs de 85 %. **La Chine, premier émetteur mondial, est responsable à elle seule de 22 % des émissions du secteur industriel.**

Les émissions par habitant sont particulièrement élevées au Canada, en Corée du Sud, aux Etats-Unis, et au Japon. **En termes de tendance, les émissions du secteur de l'industrie ont diminué en part relative dans la majorité des pays depuis 1990.**

En absolu, les émissions de l'industrie ont diminué entre 1990 et 2002 de 26 % au Mexique, de 19 % en Russie, de 18 % en Australie, de 15 % dans l'UE 25 et de 10 % aux Etats-Unis. Sur la même période, la croissance a cependant été significative en Inde (+49 %), Chine (+21 %), Brésil (+61 %) et Corée du Sud (+77 %).

La production de matériaux intensifs en carbone a très fortement augmenté depuis les années 1950, en particulier pour le ciment (voir Figure 11).



**Figure 11 : Evolution de la production (en tonne par an) des produits industriels les plus intensifs en gaz à effet de serre. (source : GIEC)**

D'après le GIEC, le potentiel de réduction du secteur industriel serait entre 3,6 et 6,9 GteCO<sub>2</sub> d'ici 2030 dans le scénario A1B et entre 2,6 et 5,5 GteCO<sub>2</sub> dans le scénario B2. Le principal potentiel de réduction est localisé dans l'industrie de l'acier, du ciment, du raffinage du pétrole, ainsi que dans le contrôle des gaz autres que le CO<sub>2</sub>, une grande partie du potentiel serait disponible pour un prix inférieur à 20 \$/tCO<sub>2</sub>.

Le secteur industriel est aussi caractérisé par une **forte exposition à la concurrence internationale**. Les produits manufacturés étaient responsables de 75 % du commerce mondial (le reste est essentiellement les services). Selon l'OMC, l'acier représente 2,2 % des échanges en 2001, les produits chimiques 9,9 %, l'automobile 9,4 %.

## 4. Ciment

### 4.1. Émissions mondiales liées à la production de ciment

**Les émissions associées à la production de ciment se montaient à 1586 MteCO<sub>2</sub> en 2000, soit 3,8 % des émissions mondiales** et 5 % des émissions de CO<sub>2</sub> (WRI). Cela représente environ 3 fois le niveau des émissions nationales françaises annuelles.

#### **Processus de production du ciment**

Les deux matières premières qui entrent dans la fabrication du ciment, le calcaire et l'argile, sont extraites en carrière puis concassées et transportées à l'usine où elles sont stockées et homogénéisées. Un broyage très fin permet d'obtenir une farine crue, qui est ensuite préchauffée et passée au four. La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) en chaux (oxyde de calcium, CaO) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Ce processus appelé calcination est suivi de la cuisson pendant laquelle l'oxyde de calcium réagit à haute température (en général entre 1 400 et 1 500°C) avec la silice, l'alumine et l'oxyde ferreux pour former des silico-aluminates de calcium composant **le clinker**. Celui-ci est ensuite broyé et mélangé à du gypse et à d'autres constituants ce qui permet d'obtenir le ciment. Mélangé à des granulats, du sable et de l'eau, le ciment est l'élément de base du béton.

Le ciment est fabriqué soit dans des fours rotatifs, soit dans des fours verticaux. Les fours verticaux sont très inefficaces et n'existent plus que dans quelques pays, essentiellement en Chine où ils sont en voie de suppression. Il existe quatre grands procédés de fabrication du ciment par les fours rotatifs : la voie sèche, semi-sèche, semi-humide et humide. Dans le monde entier, toutes les nouvelles installations utilisent aujourd'hui la voie sèche qui est la plus efficace. En effet, les procédés humides consomment davantage d'énergie, ils sont donc plus coûteux et leurs émissions sont plus élevées. Néanmoins, la voie humide peut encore être utilisée lorsque les installations de production de ciment sont situées à proximité d'une carrière où les matières premières sont très humides.

Il existe **plusieurs variétés de ciment**, qui diffèrent en résistance et temps de durcissement. Le ciment le plus courant, appelé « Portland standard », contient 95 % de clinker. Les autres types de ciments, appelés ciments composés, contiennent entre 20 et 94 % de clinker et des additifs comme par exemple les cendres volantes de centrales à charbon, les fumées de silice, le laitier provenant des aciéries et le calcaire broyé.<sup>9</sup> Le ciment composé est bien répandu en Europe mais reste peu présent aux États-Unis et au Royaume-Uni. **Les ciments composés sont moins intenses en CO<sub>2</sub>** car la production de clinker est très intensive en énergie. **Le ratio de clinker dépend de la disponibilité locale d'additif**, c'est pourquoi certains pays seront toujours moins performants que d'autres à cause de facteurs physiques. Il peut dépendre aussi **des réglementations** nationales ou locales qui sont parfois une barrière au ciment composé.

Le CO<sub>2</sub> est émis à différents moments du processus de production du ciment :

- le procédé chimique pour fabriquer le clinker (environ 50 % des émissions). Les émissions vont donc dépendre fortement de **l'efficacité énergétique** de l'installation pour la production de clinker ;
- la combustion directe sur site des combustibles fossiles (40 % des émissions). **Les émissions dépendent du combustible utilisé** (Les émissions liées à la combustion de biomasse ne sont pas comptabilisées par convention. On peut aussi considérer que la combustion de déchets réduit les émissions) ;

<sup>9</sup> Le choix des additifs a un impact sur les émissions : par exemple, les ciments riches en silicates demandent une température plus élevée et donc plus de combustibles.

- les émissions indirectes de l'électricité consommée durant le processus de production de ciment (5 % des émissions).

Les substitutions de combustibles et l'efficacité énergétique permettent de jouer sur environ la moitié des émissions alors que modifier le ratio de clinker a un effet sur 100 % des émissions.

**Le prix de l'énergie représente une part significative des coûts directs de la production de ciment : entre 25 et 35 %.**

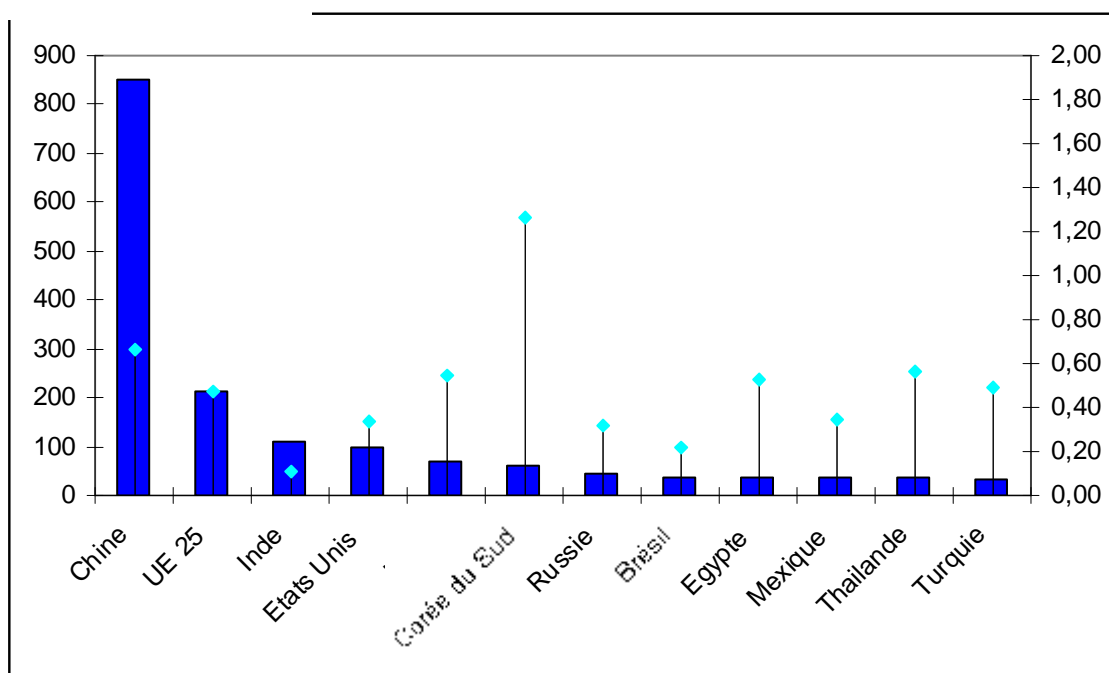
La durée de vie moyenne d'une usine de production de ciment est comprise entre 20 et 30 ans mais elle peut aller jusqu'à 50 ans.

#### 4.2. Répartition de la production par pays

Le ciment est produit dans plus de 80 pays. Néanmoins, **les 12 pays les plus gros producteurs produisent 81 % de la production mondiale** (Figure 12). **En 2004, la Chine était le premier producteur avec 42,5 % de la production.** L'UE 25 arrive en deuxième position avec 10,7 % de la production, puis viennent l'Inde (5,5 %) et les Etats-Unis (4,8 %). Les pays annexe B ayant ratifié le protocole sont à l'origine de seulement 16 % des émissions liées à la production de ciment.

Production de ciment  
(en million de tonnes)  
en 2004

Production de  
ciment /hab en 2004



**Figure 12 : Répartition de la production de ciment dans le monde en 2004 (source : WRI)**

	Production (million tonnes)	% mondiale	Changement en % depuis 1990
Chine	850	42,5	48
UE 25	214	10,7	-3
Inde	110	5,5	22
États-Unis	97	4,8	10
Japon	69	3,5	-14
Corée du Sud	60	3	25
Russie	46	2,3	62
Brésil	38	1,9	-6
Egypte	35	1,8	50
Mexique	35	1,8	19
Thaïlande	35	1,8	38
Turquie	34	1,7	-1
<b>Monde</b>	<b>2 000</b>		<b>25</b>

**Tableau 3 : Production de ciment en 2004 (source : WRI)**

#### 4.3. Projections de croissance de la production

**La production mondiale de ciment a été multipliée par 44 depuis 1945 : elle est passée de 50 Mt à 2 186 Mt en 2004.** Le taux de croissance annuel a été de 4,8 % ces dix dernières années (Watson). En Europe, au Japon, et en Australie, la production de ciment est en stagnation ou en déclin. La plus forte croissance depuis 1990 a eu lieu dans l'Asie du sud et de l'est et en particulier en Chine. Les émissions de ciment aux États-Unis et dans le Moyen orient ont aussi augmenté significativement.

**La demande de ciment est peu élastique ; elle est très liée à l'Etat général de l'économie** (les taux d'intérêt, le niveau d'investissement public dans les infrastructures, la croissance...) et en particulier au secteur de la construction (habitations). Il existe une forte corrélation entre le PIB par habitant et la consommation de ciment par habitant jusqu'à un niveau de revenu de 15 000 \$ après quoi la consommation de ciment atteint en général un plateau (Watson).

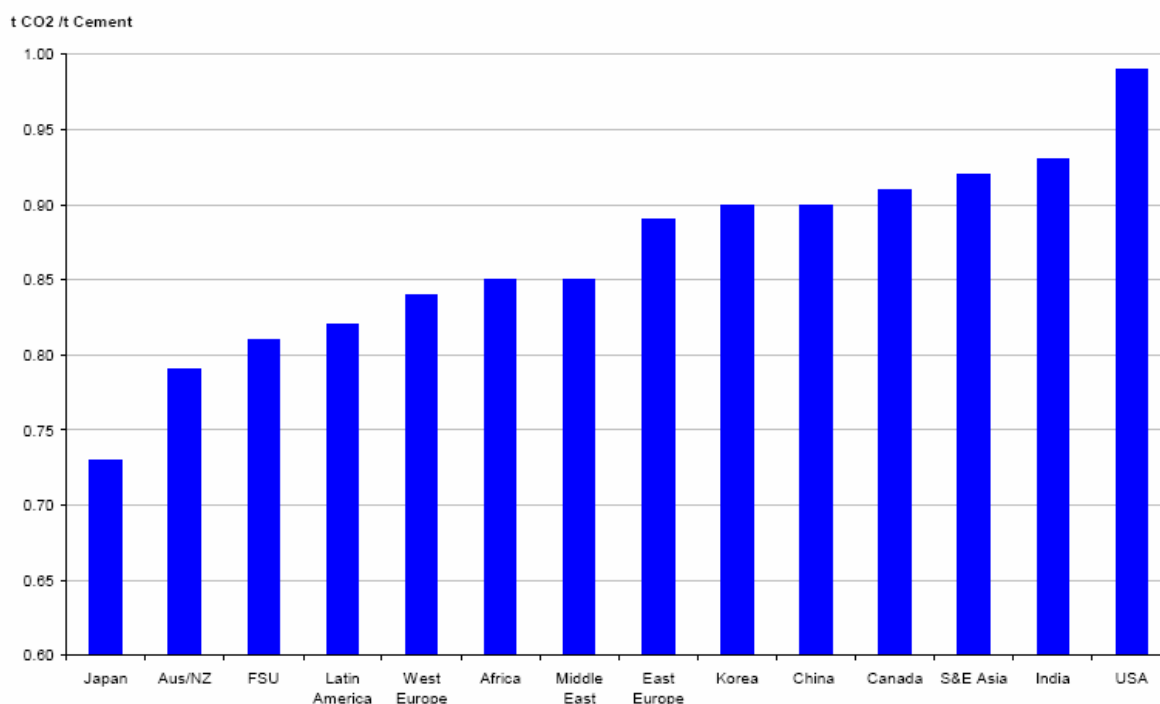
**La production de ciment devrait se monter à 2 800 Mt en 2020 et 5 800 Mt en 2050, soit une multiplication par 2,9** (Watson). Les pays où les projections de croissance sont les plus élevées sont l'Amérique latine, l'Inde et la Russie où la croissance devrait être comprise entre 16 % et 24 % d'ici 2020.

Selon CCAP (2006), la production devrait augmenter de 84 % en Chine entre 2000 (718 Mt) et 2025 (1324 Mt) et les émissions de CO<sub>2</sub> devraient passer de 643 MteCO<sub>2</sub> en 2000 à 990 MteCO<sub>2</sub>. En Inde, la production devrait augmenter de 96 Mt en 2000 à 762 Mt en 2025 et les émissions devraient passer de 67 MteCO<sub>2</sub> en 2000 à 501 MteCO<sub>2</sub> en 2025.



#### 4.4. Comparaison des performances par pays

La Figure 13 fait ressortir les différences d'émissions par tonne de ciment produite par pays. **Le pays le plus inefficace en terme de carbone est les Etats-Unis où il faut pratiquement 1 tonne de CO<sub>2</sub> pour produire une tonne de ciment.** A l'inverse, au Japon, la production d'une tonne de ciment entraîne l'émission de seulement 0,73 tonnes de CO<sub>2</sub>. Des progrès sont possibles : la Pologne qui a ouvert son secteur du ciment aux investissements étrangers a réduit l'intensité énergétique de son secteur de façon notable ces 10 dernières années et elle a maintenant une des industries les plus efficaces.



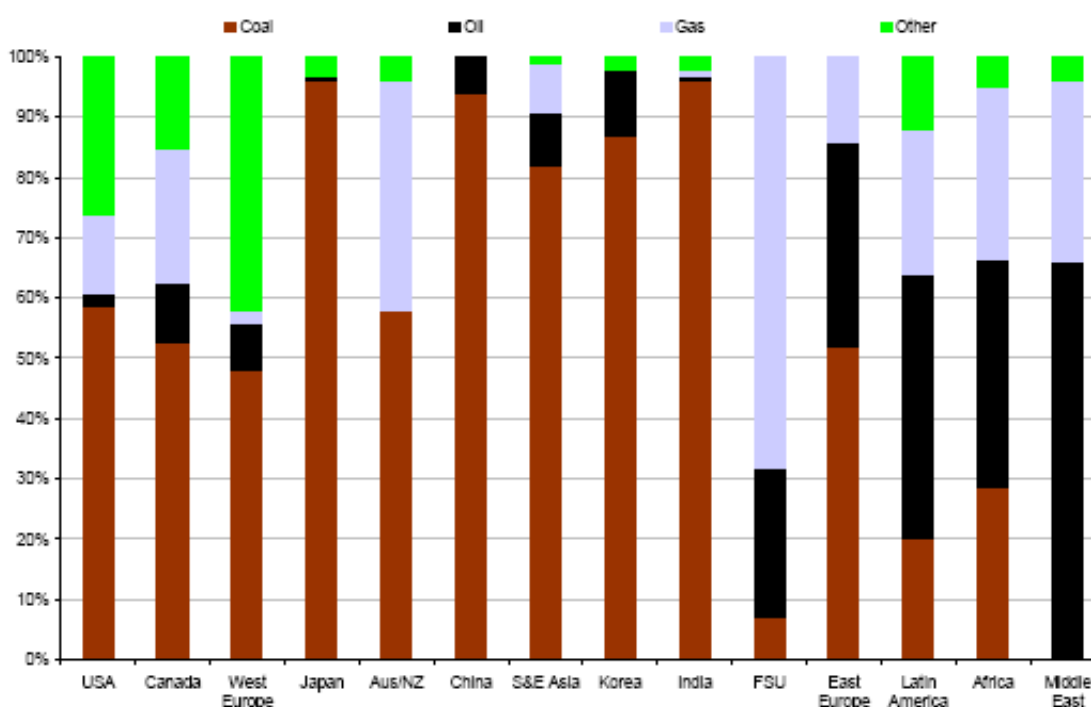
Source: Humphreys and Mahasenan (2002).

**Figure 13 : Comparaison de l'intensité en CO<sub>2</sub> de la production de ciment dans différents pays en 2000. (Source : OCDE, Watson)**

Les différences d'émissions par tonne de ciment dépendent en premier lieu: **du ratio de clinker** (qui peut dépendre lui même de la disponibilité d'additifs, variable selon les régions). Elles peuvent aussi dépendre **du type de fours** (rotatifs ou verticaux). En Europe, il n'y a que des fours rotatifs (les plus efficaces) et 75 % de la production de ciment est fabriquée en voie sèche. Au Japon, 100 % des fours sont rotatifs à voie sèche. En Chine, 75 % des fours sont verticaux mais ce pourcentage devrait baisser à 50 % d'ici 2015. La Russie et l'Ukraine ont du mal à adopter la voie sèche car le calcaire local est très humide.

Le ciment composé représentait 26 % du marché en 2000 : sa part de marché est de 20 % en Australie, 51,9 % en Europe et 61 % en Afrique du Sud. Elle est encore très faible aux Etats-Unis. Les producteurs de ciment estiment qu'il faut 10 ans pour établir les ciments composés comme une alternative au ciment Portland. Cela s'explique par une mauvaise information des consommateurs, la perception, fautive, que c'est un ciment moins solide. Ces hésitations des consommateurs s'expliquent aussi par des expériences ratées de ciments composés dans les années 70. En Inde, le ciment Portland représente 70 % de la production et la part des procédés humides n'était plus que de 12 % en 1997. En Chine, la proportion de ciment Portland était de 71 % en 1997.

Enfin, le dernier facteur qui influence les performances est **le mix de combustibles fossiles** utilisé (voir Figure 14). La faible intensité CO<sub>2</sub> en Russie s'explique par l'utilisation de gaz naturel (68 %). Néanmoins, les combustibles n'expliquent pas tout : le Japon est le pays le plus efficace alors que le combustible utilisé à 95 % est le charbon : s'il est vrai que le Japon, contrairement à l'Inde, utilise un charbon de très bonne qualité, ses faibles émissions s'expliquent avant tout par une parfaite maîtrise de la technologie. L'autre raison est que le Japon utilise massivement des déchets comme combustible, ce qui réduit les émissions. Le Brésil a de très bonnes performances parce qu'il n'utilise pas de procédés humides et parce que le ciment est produit à 24 % à partir de charbon de bois.



Source: Humphreys and Mahasenan (2002). Note: the "other" category includes alternative fuels and raw materials (inputs to cement production derived from industrial, municipal and agricultural waste streams).

**Figure 14 : Mix de combustible pour la fabrication de ciment par région dans les années 1990 (source : Watson)**

#### 4.5. Potentiel de réduction

Selon Watson (2005), les pratiques et technologies connues pourraient réduire les émissions spécifiques (ie par tonne de ciment) liées à la production de ciment de 33 % par rapport au scénario de référence d'ici 2020 si elles étaient généralisées dans le monde entier : réduction de 7 % en augmentant les additifs, de 11 % en améliorant l'efficacité technique, de 3 % en changeant de combustibles et de 12 % en utilisant des combustibles alternatifs non fossiles. Les émissions aux Etats-Unis et au Canada pourraient être ainsi réduites de 50 %, en Asie du Sud Est de 45 %, en Australie et Nouvelle Zélande de 40 %.

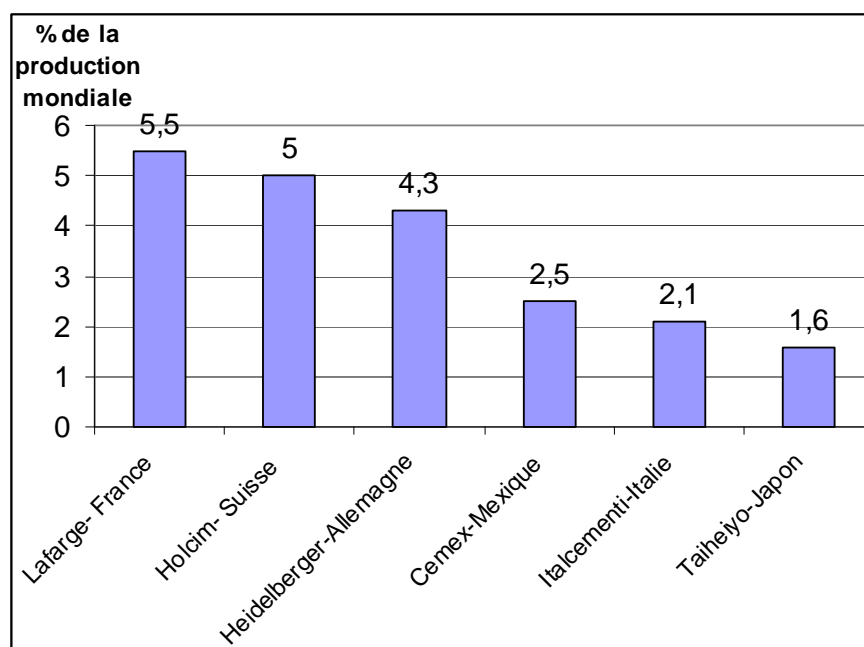
Selon une autre estimation (citée par Watson), si toutes les régions atteignent le niveau d'efficacité du Japon, les émissions liées à la production de ciment en 2020 pourraient être réduites de 16 % par rapport au scénario de référence et passer de 3 007 MteCO<sub>2</sub> à 2 523 MteCO<sub>2</sub>. **Il existe donc un potentiel de réduction des émissions dans ce secteur non négligeable.**

Les travaux de CCAP (2006) montrent que les émissions liées à la production de ciment en Chine pourraient être réduites de **198 MteCO<sub>2</sub>** d'ici 2020 pour un coût de réduction inférieur à 10 \$/tCO<sub>2</sub>. Cela correspond à une réduction de -18 % par rapport à la référence. L'intensité CO<sub>2</sub> diminuerait de 0,90 Mt CO<sub>2</sub>/tonne à 0,74 Mt CO<sub>2</sub>/tonne.

A long terme, la capture et la séquestration du carbone pourrait être une piste pour réduire les émissions. Cependant, elle augmenterait les coûts de production de 40 à 90 %.

#### 4.6. Structure du marché, échanges et concurrence internationale

La croissance des multinationales et des investissements directs étrangers a entraîné une forte augmentation de la concentration des acteurs du secteur du ciment. La part des 5 premières compagnies mondiales est ainsi passée de 9 % de la production mondiale de ciment en 1988 à 21 % de la production mondiale en 2003. Les 16 premiers cimentiers mondiaux représentent environ 50 % de la production de ciment mondiale hors Chine, c'est à dire à peine plus de 25 % de la production totale de ciment. Lafarge et Holcim, les deux plus grandes compagnies, sont présentes respectivement dans 75 et 70 pays.



**Figure 15 : Premiers producteurs mondiaux de ciment en 2003 (source :WRI)**

Au Brésil, au Royaume-Uni, en Afrique du Sud et en Thaïlande, les 5 premiers producteurs mondiaux détiennent plus de 80 % du marché local. Dans d'autres pays, ce chiffre est plus faible : 49 % aux Etats Unis, 42 % en Inde, 10 % en Russie et **3 % en Chine. En Chine, le secteur est très peu concentré avec plus 5000 installations de production de ciment, qui sont des entreprises locales rurales avec de faibles niveaux de production.** 80 % du ciment est ainsi produit dans des petites installations, qui produisent des montants importants de particules et un ciment de mauvaise qualité. On observe néanmoins aujourd'hui une tendance à plus de consolidation, en particulier à travers des grands conglomérats de ciment chinois. Entre 3000 et 4000 installations ont été fermées ces 5 dernières années par le gouvernement chinois.

En général, le ciment est produit près de l'endroit où il est consommé **car les coûts de transport des pondéreux par la route sont relativement élevés** (selon le SESSI<sup>10</sup>, le transport de ciment dans un rayon de 100 kilomètres provoque une appréciation du prix proche de 50 %.) **L'abondance du calcaire et des autres matériaux primaires, la haute densité du ciment et sa faible valeur expliquent ainsi pourquoi le ciment conduit à peu d'échanges internationaux.** Moins de 6 % de la production mondiale de ciment est exportée à travers les frontières et seulement 3,5 % de la production est échangée entre grandes régions. Les plus grands exportateurs sont le Canada (vers les Etats-Unis) et le Japon (vers l'Asie du Sud-Est). En Europe de l'Ouest, les deux grands exportateurs sont le Danemark et la Grèce qui exportent plus de 50 % de leur production dans des destinations hors UE.

**Si le ciment ne se transporte pas sur de longues distances par route, il peut se transporter par bateau : il peut donc y avoir des enjeux de compétitivité autour des villes portuaires** (Marseille vis à vis du Maghreb) et à proximité des fleuves. En particulier, on peut envisager des délocalisations de la production de clinker, étape la plus intensive du procédé.

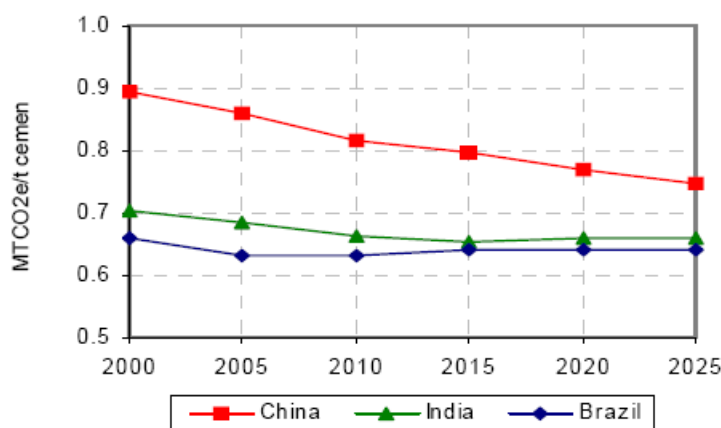
#### 4.7. Instruments économiques envisageables pour inciter à la réduction des émissions

L'idée d'établir des mécanismes sectoriels vient du besoin d'établir des règles concurrentielles internationales. Ce risque n'est pas trop élevé dans le secteur cimentier. Néanmoins, le risque de distorsion de concurrence dans les zones portuaires pourrait pousser à mettre en place un tel dispositif.

##### Objectif sectoriel au niveau du pays

Les Etats ont des marges de manœuvre relativement réduites pour réduire les émissions liées à la production de ciment sur leur territoire : leur principal levier d'action direct est la promotion des ciments mélangés par des réglementations adaptées.

La Figure 16 montre l'évolution des émissions ramenées à la tonne de ciment dans les trois grands pays émergents d'ici 2025. Là encore, la tendance est à une plus grande efficacité énergétique. Un objectif sectoriel au niveau des Etats devrait aller au-delà de ces projections.



**Figure 16 : Evolution projetée des émissions/tonne de ciment en Chine, Inde et Brésil d'ici 2025, en prenant en compte les politiques récentes (source : CCAP, 2006)**

<sup>10</sup> 4 pages numéro 2008, juillet 2005.

En Chine, le remplacement des vieux fours rotatifs et le passage à une production sèche devraient permettre de forts progrès. Le potentiel de réduction en Inde est plus limité car 99 % des installations ont moins de 10 ans : il réside essentiellement dans une augmentation de la part des ciments composés.

### Objectif sectoriel au niveau des industriels

Le « *World business council for sustainable development* » a été très actif ces dernières années pour essayer de développer un benchmark dans le secteur du ciment pour les projets MDP.<sup>11</sup> Une première étape pourrait donc être de développer un benchmark pour le ciment dans le cadre du MDP. Puis, on pourrait envisager de développer un **objectif sectoriel contraignant au niveau des installations, calé sur le benchmark international défini dans le MDP**. Cela paraît légitime dans la mesure où le secteur est relativement concentré avec un nombre important de multinationales. Le benchmark contraignant pourrait porter dans un premier temps sur les installations nouvelles et, à plus long terme sur les installations existantes. Il faudrait évaluer dans quelle mesure l'enjeu de réduction dans le secteur cimentier concerne la rénovation d'installations existantes ou le développement et la généralisation de technologies faiblement émettrices sur les installations nouvelles.

Le ciment est un matériau relativement simple. Néanmoins, la question du **nombre de benchmark** se pose inévitablement dans la mesure où les performances relatives entre pays s'expliquent aussi par des facteurs locaux, notamment la disponibilité d'additif. Une trop grande différenciation des **benchmarks par régions** risque de compliquer grandement le dispositif. (Si le dispositif mis en place est contraignant, les pays qui ont de mauvaises performances pousseront pour une forte différenciation des benchmarks.)

Il faudra décider si le benchmark est calé sur le clinker ou le ciment. Il est plus facile de développer un benchmark sur le clinker car c'est un matériau plus homogène. Néanmoins, ce faisant, **on élimine l'incitation à passer à des ciments composés**, ce qui n'est pas souhaitable vu que le ratio de clinker influence fortement la teneur en CO<sub>2</sub> du ciment.

La présence de très nombreuses petites entreprises en Chine pourrait être un obstacle à la mise en place d'un dispositif. Est-il politiquement acceptable de mettre en place un tel système si l'essentiel des installations en Chine n'est pas couvert? Il faudrait évaluer les exportations des petites entreprises chinoises et les risques de distorsion de concurrence entre les multinationales installées en Chine et les PME chinoises.

---

<sup>11</sup> Au 01 décembre, 9 projet MDP dans le secteur du ciment ont été enregistré en Inde et 1 en Indonésie et 18 sont en cours de validation (13 sont en Inde). Ces projets ne reposent pas sur des benchmarks. Ce sont des projets de substitution du clinker par des additifs.

## 5. Acier.

### 5.1. Émissions mondiales liées à la production d'acier

Le CO<sub>2</sub> est émis à plusieurs moments durant le procédé de fabrication de l'acier ; il faut prendre en compte les émissions de combustibles sur site (70 %) et les émissions indirectes de chaleur et d'électricité consommées durant le procédé de production (30 %). En prenant en compte toutes ces émissions, **le secteur du fer et de l'acier a émis 1 336 MteCO<sub>2</sub> en 2000 soit 3,2 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre** et 4,1 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> (source : WRI). C'est autant que les émissions du Japon en 2000.

#### **Processus de production de l'acier**

**La production d'acier est répartie en deux filières principales de production : le haut-fourneau et l'arc électrique.** Dans la filière classique à haut-fourneau dite «intégrée» (60% de la production), le coke et le fer réagissent ensemble par une réaction d'oxydoréduction sous un courant d'air chaud à 1200 °C pour former de la fonte liquide. Les émissions de CO<sub>2</sub> de cette filière proviennent de la combustion du charbon, mais également des réactions chimiques (émissions de procédé). La production se fait principalement dans les fours à l'oxygène pour l'acier (*Basic Oxygen Furnace (BOF)*) mais il existe encore en Russie et en Inde des fours creuset pour l'acier (*Open Heart furnace (OHF)*, 3 %) qui sont dépassés et très peu performants.

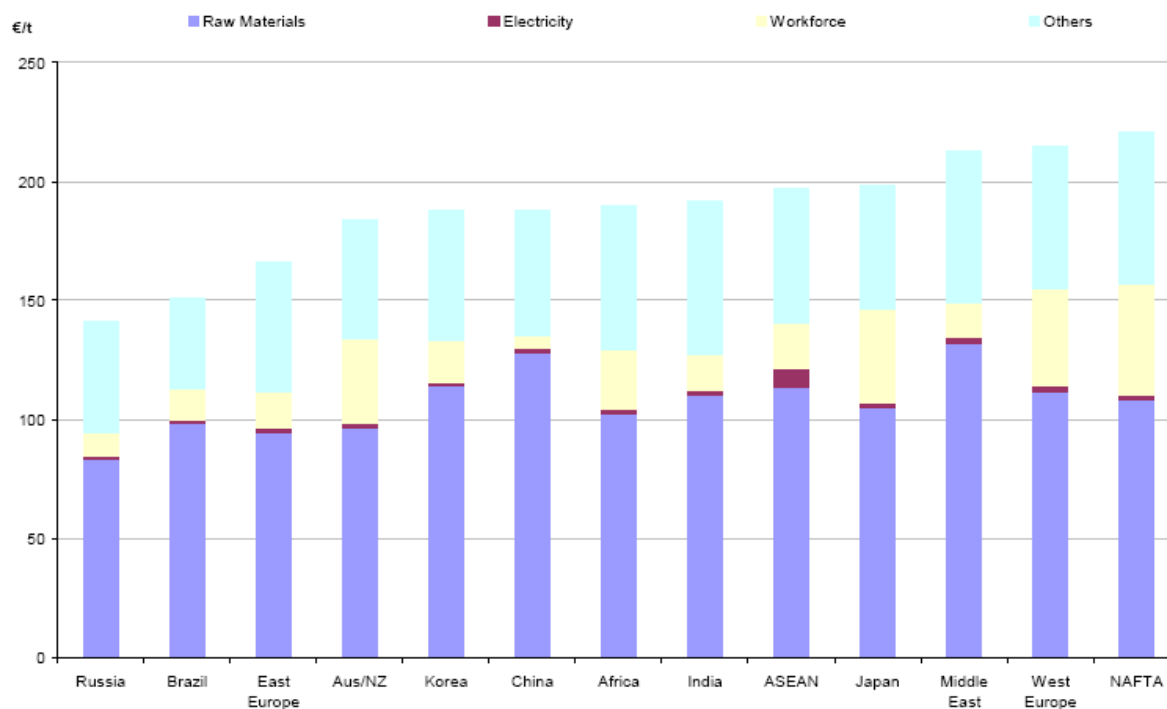
La filière arc électrique qui utilise des ferrailles représente 35% de la production. Elle est beaucoup plus économe en énergie et en CO<sub>2</sub> (seulement 30 à 40 % de l'énergie utilisée dans le procédé primaire), même en prenant en compte les émissions associées à la production d'électricité. La production se fait dans des mini-acières (*mini mills*) qui ont des coûts d'investissement et opératoires plus faibles que les complexes intégrés qui sont pénalisés par la présence de nombreuses installations auxiliaires coûtant cher à la maintenance et pouvant engendrer des problèmes de pollution. Néanmoins, cette filière ne peut se développer qu'en présence d'un gisement de ferrailles important et à peu près stable, les importations ne jouant qu'un rôle d'appoint.

Les produits des deux filières ne sont que **partiellement substituables**. L'acier provenant des fours à arc était traditionnellement de moins bonne qualité que celui provenant des hauts fourneaux à cause de la présence d'impuretés dans les ferrailles, il était donc utilisé pour faire des produits longs (pour la construction) et les deux filières n'étaient pas en compétition sur le marché des produits plats. C'est moins vrai aujourd'hui car la qualité des ferrailles s'est améliorée.

Il existe enfin une sous filière (DRI /HBI) de la filière arc électrique (15 à 20 % de la production) où le gaz naturel est utilisé pour réduire le minerai de fer. Les émissions sont alors réduites de 50 % comparé à la production primaire (cependant les émissions (1,2 tCO<sub>2</sub>/t) sont supérieures à la filière arc électrique classique (0,6 tCO<sub>2</sub>/t)). Ce procédé consomme des quantités importantes de gaz naturel, il est donc surtout intéressant dans les régions qui disposent de gaz à faible coût.

L'acier liquide affiné produit par ces différentes filières est mis en forme à l'état solide par la coulée continue et transformé en demi-produits sidérurgiques. Ces demi-produits sont amincis par laminage à chaud puis découpés sous forme de plaques, de barres ou de bobines selon les applications. Les produits aciers subissent ensuite des transformations à froid combinées avec des traitements à chaud. On dénombre aujourd'hui près de **3 000 nuances répertoriées d'acier**, elles ont une grande variété d'applications dans la construction et la manufacture. Les différents produits sont obtenus par ajustement de la teneur en carbone (rendant l'acier plus dur et plus résistant, mais moins malléable), par adjonction d'éléments (chrome et nickel pour les aciers inoxydables, silicium, molybdène), par traitement thermique ou par revêtements protecteurs (zinc, étain, chrome).

Le coût de production d'une tonne d'acier en plaque en haut fourneaux varie entre 141 et 221 €/tonne. La figure 12 fait ressortir que ce coût dépend du coût de la main d'œuvre (entre 3 % du coût total en Chine et 20 % en Amérique du Nord et Japon) et du coût de l'énergie qui représente entre 15 et 20 % des coûts de production.

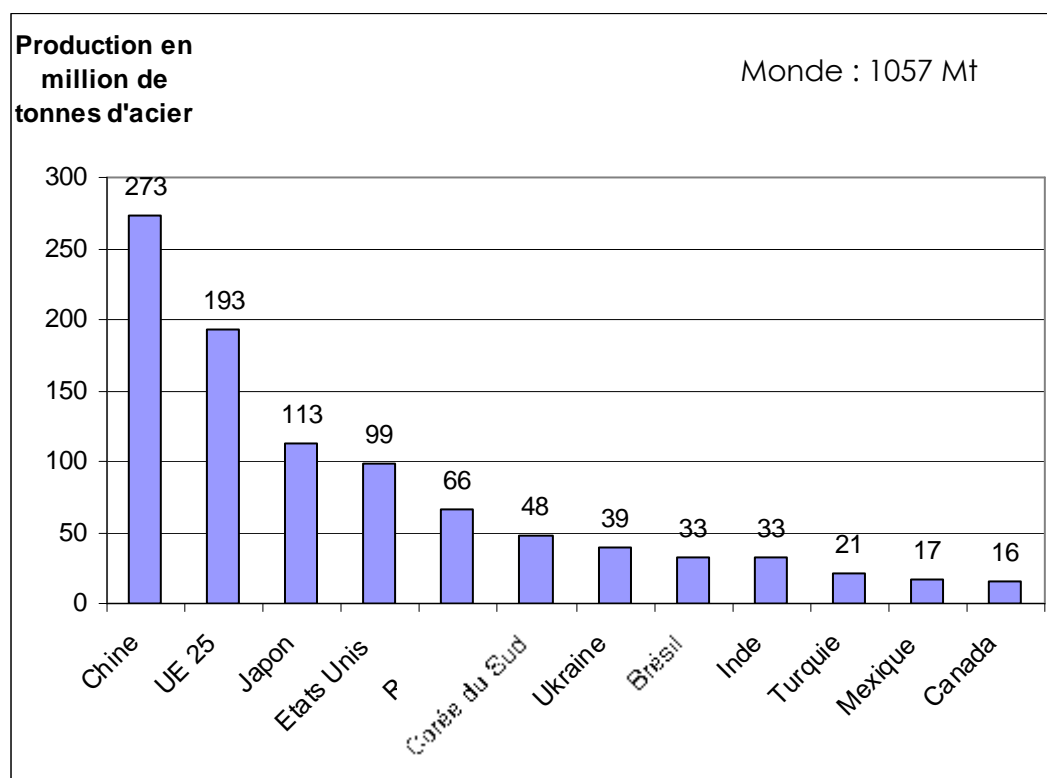


Source: World Steel Dynamics – Roland Berger analysis cited in Arcelor (2005).

**Figure 17: Coûts de production d'acier en plaque dans les hauts fourneaux en 2003 (source : Watson)**

### 5.2. Répartition de la production par pays

**Les 12 pays les plus gros producteurs totalisent 90 % de la production d'acier mondial** (Figure 18). Les pays annexe B ayant ratifié le protocole de Kyoto représentent 42,5 % de la production mondiale d'acier. **La Chine est le premier producteur mondial** devant l'Europe des 25, le Japon et les Etats-Unis. La croissance du secteur de l'acier en Chine a été de 25 % par an ces dernières années. La capacité de production d'acier brut en Chine a plus que doublé depuis 2001.



**Figure 18 : Répartition de la production d'acier entre les différents pays en 2004 (source : WRI)**

	Production (million tonnes)	% mondiale	Changement en % depuis 1990
<b>Chine</b>	273	25,8	120
<b>UE 25</b>	193	18,3	10
<b>Japon</b>	113	10,7	21
<b>Etats Unis</b>	99	9,4	2
<b>Russie</b>	66	6,2	27
<b>Corée du Sud</b>	48	4,5	16
<b>Ukraine</b>	39	3,7	41
<b>Brésil</b>	33	3,1	32
<b>Inde</b>	33	3,1	34
<b>Turquie</b>	21	1,9	43
<b>Mexique</b>	17	1,6	9
<b>Canada</b>	16	1,5	1
<b>Monde</b>	<b>1057</b>		<b>34</b>

**Tableau 4 : Production d'acier en 2004 (source : WRI)**



### 5.3. Projections de croissance de la production

La production d'acier a été multipliée par 5,7 entre 1950 et 2004. Le taux de croissance annuel moyen était de 1,3 % entre 1970 et 2002. Il est passé à 3,4 % ces 5 dernières années à cause de la forte croissance de la demande chinoise. La demande d'acier est très liée à la demande dans les secteurs de la construction et automobile. Il existe une corrélation forte entre la consommation d'acier par habitant et le niveau de développement économique d'un pays.

**Selon Arcelor<sup>12</sup>, la production mondiale devrait augmenter de 425 Mt d'ici 2015**, essentiellement dans les pays en développement, notamment en Chine et Asie : 200 Mt en Chine, 30 Mt en Inde, 85 Mt dans le reste de l'Asie, 32 Mt en Europe, et 29 Mt en Amérique du Nord.

Selon CCAP (2006), la production en Chine devrait augmenter de 131 Mt en 2000 à 354 Mt en 2025 et les émissions de CO<sub>2</sub> devraient passer de 200 MteCO<sub>2</sub> en 2000 à 257 MteCO<sub>2</sub> en 2025 (le chiffre en 2025 prend en compte les nouvelles politiques d'efficacité énergétique chinoises qui devraient permettre de réduire les émissions de 29 MteCO<sub>2</sub> en 2025). En Inde, la production devrait passer de 30 Mt en 2000 à 244 Mt en 2025 et les émissions devraient augmenter de 66 MteCO<sub>2</sub> en 2000 à 300 MteCO<sub>2</sub> en 2020.

### 5.4. Comparaison des performances par pays

Il existe de grandes différences régionales en terme de performance à la tonne de CO<sub>2</sub> émise par tonne d'acier (Tableau 5).

	Filière intégrée				Filière arc électrique				Total
	Part de la production en %	Intensité des émissions (tCO <sub>2</sub> /tacier)			Part de la production en %	Intensité des émissions (tCO <sub>2</sub> /tacier)			Intensité des émissions (tCO <sub>2</sub> /tacier)
		Fossil	Elec	Total		Fossil	Elec	Total	
USA, Canada, Mexico	48	1,9	0,1	2	52	0,2	0,4	0,6	1,3
Africa et Moyen Orient	32	2,7	0,1	2,8	68	0,2	0,4	0,6	1,3
UE	59	2	0,1	2,1	41	0,2	0,3	0,5	1,4
Rest de l'Europe	73	2	0	2	27	0,2	0,1	0,2	1,5
Reste de l'Asie	51	2,3	0,1	2,4	48	0,2	0,5	0,7	1,6
Amérique Latine	63	2,5	0	2,5	35	0,2	0,1	0,3	1,7
Japon	74	2,4	0,1	2,5	26	0,2	0,2	0,4	1,9
Europe de l'est et Russie	53	2,2	0,2	2,4	21	0,2	0,5	0,8	2
Australie/nouvelle Zélande	81	2,4	0,2	2,6	19	0,2	0,5	0,7	2,2
Chine	86	3,7	0,2	3,9	14	0,2	0,7	0,9	3,4
<b>Monde</b>	<b>64</b>	<b>2,6</b>	<b>0,1</b>	<b>2,7</b>	<b>33</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>

**Tableau 5 : Comparaison de l'intensité en CO<sub>2</sub> de la production d'acier dans différents pays, selon les filières.** (Source : Watson à partir de Maestad et IISI) (les données pour l'UE ne contiennent pas la Finlande et la Suède et la Turquie est incluse dans l'Europe de l'est)

<sup>12</sup> Présentation orale de JY Gillet, Senior executive Vice president, le 30 mars 2005 à l'école des mines.

La mauvaise performance globale de la Chine, de l'Australie et de la Russie s'explique en partie par la part importante de production à partir de haut fourneau : il y a 86 % de hauts fourneaux en Chine et 53 % en Russie alors que dans le Moyen Orient, la proportion n'est que de 17 %. Le Brésil a de très bonnes performances parce qu'il utilise du charbon de bois (24 %). Quand on regarde plus précisément les performances par filière, on voit que les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la production d'une tonne d'acier en haut fourneau sont de 3,9 tonnes en Chine contre 2 en Amérique du Nord et en Europe. Ces différences s'expliquent principalement par **des différences d'efficacité énergétique** mais aussi par la technologie utilisée, la maintenance, la qualité du charbon et du minerai de fer. Pour la filière arc électrique, les différences s'expliquent principalement par les **différences de mix énergétique**. C'est pourquoi les pays charbonniers comme la Chine, l'Europe de l'Est, l'Amérique du Nord ou l'Australie ont de mauvaises performances.

La Chine a fait de gros efforts pour améliorer son efficacité énergétique ces dernières années, en réduisant sa consommation d'énergie par tonne d'acier de 29,3 GJ en 1990 à 23 GJ en 2000 (GIEC). Néanmoins, il existe encore un potentiel considérable pour l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. En Chine, le matériel est de mauvaise qualité, les réseaux de transmission électrique aussi, il y a un faible recyclage des déchets, les équipements sont de petites tailles, il y a une utilisation relative de fer plus élevée et l'efficacité de la conversion de la chaleur et de l'oxygène est mauvaise (Maestad).

### 5.5. Potentiel de réduction

Selon le GIEC, le potentiel de réduction pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur de l'acier avec les technologies existantes serait de 24 % d'ici 2010. Une réduction additionnelle de 5 % en 2020 pourrait être atteinte avec les technologies avancées.

Un certain nombre de technologies nouvelles existent pour réduire les émissions, directes ou indirectes, liées à la production d'acier (extinction du coke à sec (permet de produire de la vapeur ou de l'électricité), les turbines de récupération du gaz de gueulard (qui permettent de produire de l'électricité), la coulée continue ...) Le Tableau 6 fait ressortir que si ces technologies sont diffusées dans le monde, les émissions pourraient être réduites de **173 MteCO<sub>2</sub> d'ici 2020 par rapport au scénario tendanciel**.

	Coke Dry Quenching	Top-pressure Recovery Turbine	Furnace gas recovery facility	Continuous casting	Total
<b>Current diffusion level (%)</b>					
North America	0	2	10	97	
Europe	30	20	10	92	
FSU	30	20	10	42	
Korea	50	100	25	99	
Developing countries	10	2	5	91	
Japan	90	97	100	98	
<b>Target diffusion level (%)</b>					
	90	97	98	100	
<b>CO<sub>2</sub> Emissions Reductions, 2020 (Mt CO<sub>2</sub>)</b>					
North America	3	3	0	11	17
Europe	4	3	2	21	29
FSU	4	1	11	13	28
Korea	1	0	0	4	4
Developing countries	18	14	5	58	95
<b>World</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>107</b>	<b>173</b>

Source: Tanaka and Kudo (2005).

**Tableau 6 : Potentiel de réduction par région en 2020 (source : Watson)**

Cette estimation ne prend pas en compte tous les potentiels de réduction car on manque de données pour évaluer toutes les technologies potentielles d'avenir.

Le plus gros potentiel de réduction est en Chine, en Inde et aux Etats-Unis (40 % du potentiel).

Les travaux de CCAP (2006) montrent que les émissions liées à la production d'acier en Chine pourraient être réduites de 38 MteCO<sub>2</sub> d'ici 2020 pour un coût de réduction de moins de 10 \$/tCO<sub>2</sub>. Cela correspond à une réduction de -12 % par rapport au scénario tendanciel. L'intensité CO<sub>2</sub> diminuerait de 0,88 Mt CO<sub>2</sub>/tonne à 0,78 Mt CO<sub>2</sub>/tonne.

Sur le long terme, une des technologies les plus prometteuses est la séquestration géologique du carbone. Une autre piste envisagée est la substitution du coke par du méthane, de l'hydrogène ou de la biomasse. Ce type de recherche est notamment effectué au niveau européen dans le cadre du projet ULCOS.

## 5.6. Structure du marché, échanges et concurrence internationale

### a. Structure du marché

Le premier producteur d'acier mondial est Arcelor, or ce dernier ne totalise que **4,4 % de la production mondiale** (après la fusion avec Mittal, le nouveau groupe produira 8,5 % de l'acier mondial). **Les 15 premiers producteurs d'acier dans le monde produisent 354 Mt soit 33 % de la production** (Figure 19).

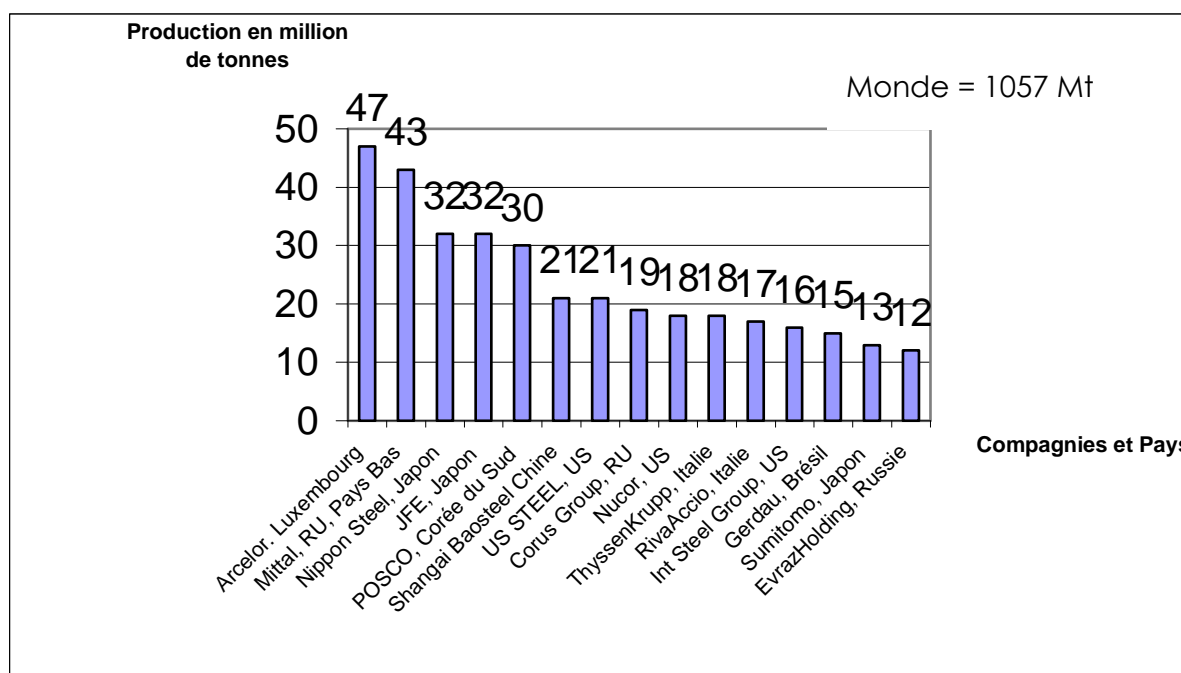


Figure 19 : Principaux producteurs d'acier mondiaux en 2004 (source : WRI)

L'acier est un **secteur encore peu concentré** mais il est devenu de plus en plus international dans les dernières décades et on a observé une concentration de la production ces dernières années. **Il y a maintenant de très grosses compagnies mais aussi encore un très grand nombre de petits producteurs.**

Il est intéressant de constater que si les plus grosses compagnies sont européennes (Arcelor et LDM) ou japonaises (Nippon Steel et JFE), les compagnies coréennes (Posco) et chinoises (ShanghaiBasoteel) se placent respectivement en 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> positions.

Mittal Steel, a des capacités de production dans 14 pays, en particulier, l'Afrique du Sud, l'Algérie, le Kazakhstan, Trinidad et Tobago, l'Amérique du Nord et l'Europe. Mais toutes les compagnies ne sont pas internationales, Nippon Steel, POSCO, et la plupart des producteurs chinois n'ont pas d'unités de production à l'étranger et disséminent leurs produits par le commerce.

En Chine, l'agence de régulation qui a hérité des pouvoirs de l'ancien ministère de l'industrie métallurgique contrôlait 96 % de la production d'acier en 1999. 33 grosses entreprises d'acier produisaient 76 Mt d'acier (60 % de la production) en 1999. Ces installations sont en général anciennes : elles ont entre 17 et 89 ans, avec une moyenne d'âge de 50 ans (l'ancienneté de l'équipement est une information à utiliser avec précaution car il peut y avoir eu des rénovations de l'installation depuis). La même agence était aussi en charge de 56 entreprises locales qui produisaient 37,7 Mt en 1999 (soit 30,4 % de la production). 2/3 de ces installations ont été construites dans les années 50 et la plus récente en 1972<sup>13</sup>.

#### b. Échanges

Les échanges d'acier représentent 2,5 % des échanges mondiaux. Ils ont augmenté de 22 % dans les années 1970 à 37 % en 2003. Les premiers importateurs en 2003 étaient la Chine (23,5 Mt) avec 11 % des échanges et les Etats-Unis (19,1 Mt) avec 4 %<sup>14</sup>. Les plus grands exportateurs étaient le Japon (30,8 Mt), la Russie (27,1Mt) et l'Ukraine. Les échanges d'acier devraient diminuer globalement en 2005 car de nouvelles capacités de production se sont installées près des centres de consommation : en particulier, les importations chinoises ont diminué de façon significative depuis 2003, grâce à l'augmentation de la capacité domestique.

Selon Maestad, l'industrie de l'acier est responsable de 20 % du transport maritime (transport de 4000 milliards de tonnes miles par an), via le transport du minerai de fer, du charbon et de l'acier. On estime que le transport émet 0,14 tCO<sub>2</sub> par tonne d'acier (à ajouter au 2,5 t CO<sub>2</sub> nécessaires pour produire une tonne d'acier).

#### 5.7. Opportunité de mise en place d'un mécanisme sectoriel

Le secteur de l'acier étant un secteur très internationalisé et fortement concurrentiel, la mise en place d'un objectif sectoriel pour l'ensemble du secteur apparaît légitime.

#### Objectif sectoriel au niveau du pays

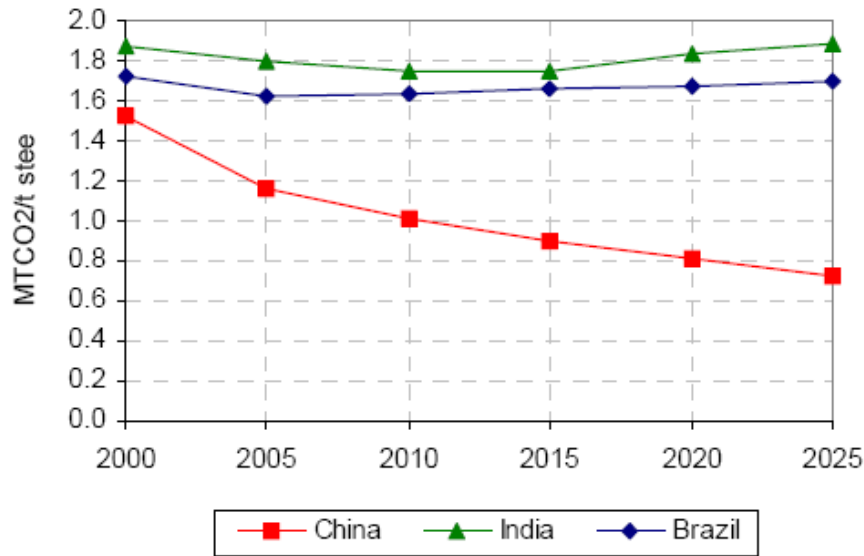
De même que pour le secteur du ciment, les Etats ont peu de leviers d'action directs pour réduire les émissions liées à la production d'acier sur leur territoire, il est donc important que l'incitation à la réduction soit relayée au niveau des industriels. Dans la mesure où il existe encore de grandes différences de performances entre pays, une distinction géographique s'imposerait pour des objectifs fixés au niveau de l'Etat. La Figure 20 montre l'évolution projetée des émissions par tonne d'acier d'ici 2025 dans les trois grands émergents. La réduction projetée des émissions spécifiques en Chine est remarquable : elle s'explique en partie par une utilisation plus importante de l'électricité

---

<sup>13</sup> Source : L. Price, J. Sinton, E. Worrell (2005) Energy use and carbon dioxide emissions from steel production in China, International Energy Studies Group, Energy Analysis Department.

<sup>14</sup> Source : Watson

(dont les émissions ne sont pas comptées par CCAP dans les émissions spécifiques de l'acier).



**Figure 20 : Evolution projetée des émissions/t acier en Chine, Inde et Brésil d'ici 2025, en prenant en compte les politiques récentes (source : CCAP, 2006)**

#### Objectif sectoriel au niveau des industriels

Développer un benchmark dans le secteur de l'acier est plus complexe que dans le secteur du ciment à cause de la grande variété de produits et procédés. Dans la mesure où le secteur est très concurrentiel, il serait légitime d'essayer de développer rapidement un **objectif contraignant**, ceci afin d'aller vers une harmonisation des conditions de concurrence. Il faudrait probablement développer *a minima* trois benchmarks pour les trois procédés existants (haut fourneau, arc électrique et DRH/HBI) ; cela est légitime dans la mesure où ces trois procédés ne sont que partiellement substituables. Il pourrait de plus être nécessaire pour chaque procédé de faire une distinction en fonction des produits de l'installation : les laminages à chaud ou à froid n'ont pas les mêmes intensités énergétique (le laminage à chaud consomme 1,53 GJ/tonne pour la combustion et 0,35 GJ/tonne d'électricité alors que le laminage à froid consomme 1,10 GJ/tonne pour la combustion et 0,53 GJ/tonne d'électricité.) La question se pose aussi de savoir si le benchmark devrait porter seulement sur les émissions directes ou couvrir aussi les émissions indirectes liées à la consommation d'électricité. Couvrir les émissions indirectes risque de poser des problèmes de double compte (se reporter à la discussion sur le double compte dans le chapitre sur l'électricité). Néanmoins, cette option ne doit pas être évacuée trop rapidement car l'efficacité énergétique est un domaine où le potentiel de réduction est important dans le secteur de l'acier.

On pourrait développer deux benchmarks : un pour les nouvelles installations et un pour les installations existantes. Il faudrait évaluer dans quelle mesure l'enjeu de réduction concerne la rénovation d'installations existantes ou le développement et la généralisation de technologies faiblement émettrices sur les nouvelles installations. Il y a peu de nouvelles installations dans le secteur de l'acier. Celles-ci sont essentiellement construites en Chine, en Inde, au Brésil, et elles utilisent en général les meilleures technologies disponibles. Dans dix ans, les installations les plus performantes seront situées dans ces pays.

Enfin, il existe aujourd'hui plusieurs obstacles à la mise en place d'un objectif sectoriel dans le secteur de l'acier. Premièrement, le secteur est encore très fragmenté. Le *international iron and steel institute* qui regroupe les producteurs d'acier ne couvre que 30 à 40 % de la capacité mondiale. Surtout, l'acier est un secteur stratégique et emblématique dans de nombreux pays : l'activité du secteur étant cyclique, ce dernier a été confronté à des difficultés économiques récurrentes et **a traditionnellement été protégé**. Il pourrait donc être difficile d'amener les pays à adhérer à un accord sur l'acier. Par ailleurs, l'acier est en forte compétition avec le plastique et l'aluminium pour certaines utilisations. Il serait donc difficile de placer un objectif seulement sur ce matériau et pas sur les autres.

## 6. Aluminium.

### 6.1. Émissions mondiales liées à la production d'aluminium

Les émissions (directes et indirectes) liées à la production d'aluminium étaient de **334 MteCO<sub>2</sub><sup>15</sup> en 2000 soit 0,8 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (WRI)**. C'est autant que les émissions de l'Arabie Saoudite en 2000. Les émissions par tonne d'aluminium sont de l'ordre de 10 tCO<sub>2</sub>/tonne d'aluminium (en prenant en compte les émissions indirectes liées à l'électricité).

#### **Processus de production**

##### *Production d'aluminium primaire*

L'aluminium est produit par la réduction électrolytique de l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). La majorité des émissions dues à la production d'aluminium a lieu pendant le processus de fusion. Ce processus nécessite d'importantes quantités d'électricité — dans les 15 000 kilowatt heure par tonne de métal produit (57 % des émissions). Cela représente **2,4 % de la consommation mondiale d'électricité**. La consommation d'électricité constitue une part importante du coût de production (entre 25 et 35 % des coûts) ; **le prix de l'électricité est donc un facteur pour le choix des zones de localisation de la production d'aluminium**.

Le procédé émet également **du PFC (22 % des émissions)** et des **émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'oxydation de l'anode lors de la fusion (16 % des émissions)**. Les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la réaction de l'anode en carbone avec l'alumina<sup>16</sup> varient peu d'une usine à l'autre et sont une part inévitable du procédé. Il y a aussi des émissions lors du raffinage de l'alumina.

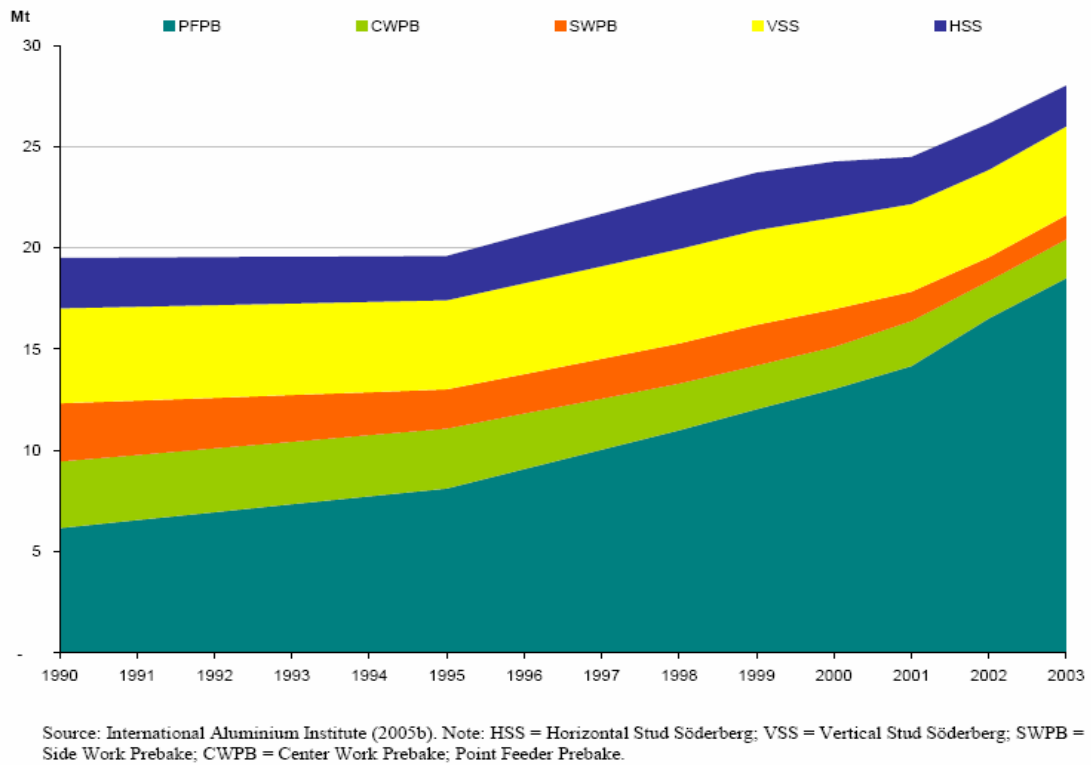
Il existe un nombre réduit de procédés et technologies de production de l'aluminium. Il y a deux technologies basiques de fusion— Söderberg and pre-bake (Figure 21). Les installations qui utilisent le procédé Söderberg sont souvent vieilles, petites et inefficaces. Elles sont responsables d'environ 27 % de la production mondiale. Ce procédé est encore très utilisé en Russie. **Le procédé pre-bake représente aujourd'hui 73 % de la production mondiale. Toutes les usines construites après 1970 l'utilisent**. Aujourd'hui, l'introduction de nouvelles technologies qui sont des variantes de la pre-bake engendre des réductions substantielles d'émissions de PFC.

##### *Production d'aluminium secondaire*

**La production d'aluminium secondaire, à partir d'aluminium recyclé, honore 40 % de la demande globale**. Elle a lieu principalement dans les pays de l'OCDE qui disposent de quantités importantes d'aluminium potentiellement recyclables. Avec ce procédé, **les émissions de gaz à effet de serre sont réduites de 95 % par rapport à la production primaire** (car il n'y a qu'une refonte de l'aluminium).

<sup>15</sup> Des émissions additionnelles, qui ne sont pas comptabilisées dans ce chiffre peuvent avoir lieu lors de l'exploitation minière de la bauxite et la production du produit final comme les cannettes, le matériel de construction, les composants automobiles.

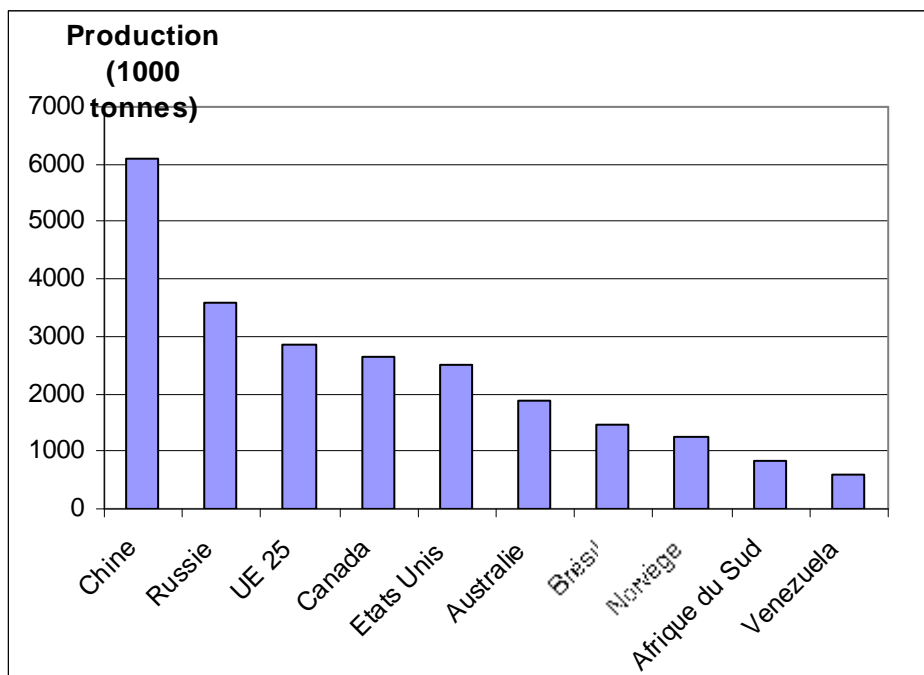
<sup>16</sup>  $5 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{ C} = 4 \text{ Al} + 3 \text{ CO}_2$



**Figure 21 : Production mondiale d'aluminium sur la période 1990-2002 par type de technologie (source : Watson)**

### 6.2. Répartition de la production par pays

La production d'aluminium est dominée par un petit nombre de pays. Les 10 plus gros producteurs **produisent 82 % de l'aluminium mondial**. La Chine, la Russie, l'UE-25, le Canada, et les Etats-Unis représentent 61 % de la production totale. **La Chine est le premier producteur mondial avec 21 % de la production**. Les pays annexe 1 produisent 55 % de l'aluminium mondial et en consomment 62 %.



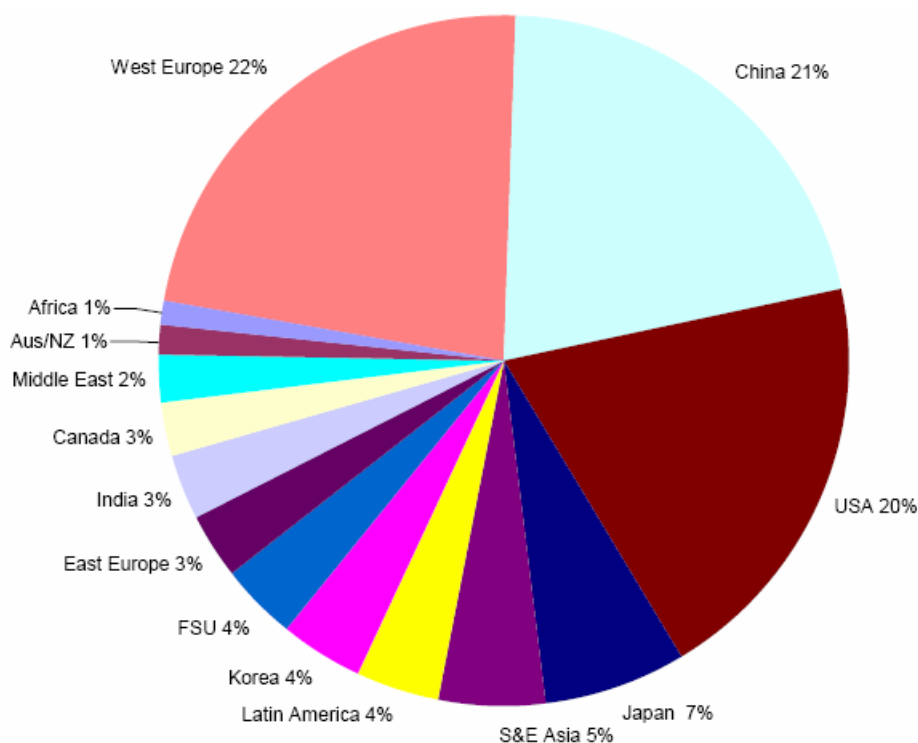
**Figure 22 : Répartition de la production d'aluminium entre les différents pays en 2004 (source : WRI)**



	Production (1000 tonnes)	% mondiale	Changement en % depuis 1999
<b>Chine</b>	6100	21,1	141
<b>Russie</b>	3600	12,5	14
<b>UE 25</b>	2851	9,9	4
<b>Canada</b>	2640	9,1	10
<b>Etats Unis</b>	2500	8,7	-34
<b>Australie</b>	1880	6,5	9
<b>Brésil</b>	1450	5	16
<b>Norvège</b>	1250	4,3	23
<b>Afrique du Sud</b>	820	2,8	19
<b>Venezuela</b>	600	2,1	5
<b>Monde</b>	28900		22

**Tableau 7 : Production d'aluminium en 2004 et changement depuis 1999 (source : WRI)**

Les plus gros **consommateurs** d'aluminium sont l'Europe de l'Ouest (22 %), la Chine (21%), les Etats-Unis (20 %) et le Japon (7 %).



Source: World Bureau of Metal Statistics (2005).

**Tableau 8 : Consommation d'aluminium par région en 2004 (source : Watson)**

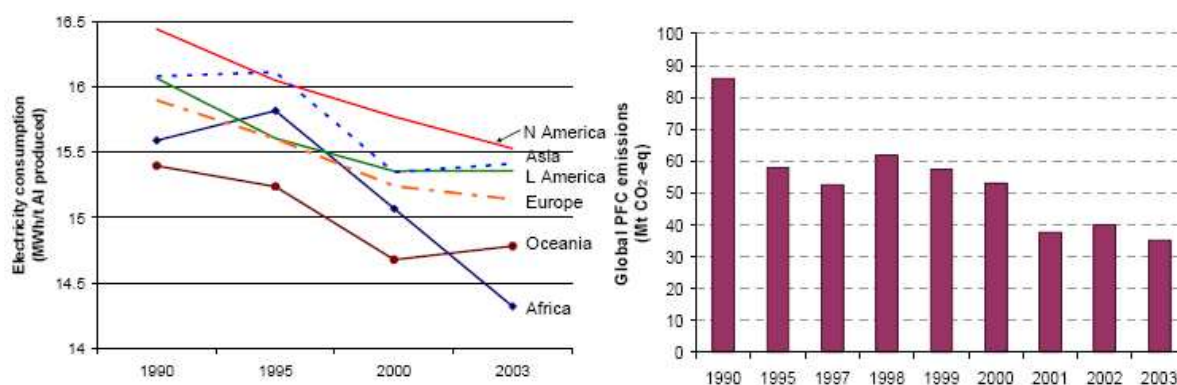
### 6.3. Projections de croissance de la production

La production d'aluminium a été multipliée par 20 depuis 1950. **Elle a augmenté de 54 % entre 1990 et 2004.** Le taux de croissance annuel moyen a été de 3,2 % depuis 1990. La croissance a été particulièrement forte en Chine ces dernières années (+141 % depuis 1999).

La consommation d'aluminium est tirée par la construction, le secteur des transports et l'emballage. La production d'aluminium **pourrait augmenter de 40 % d'ici 2020.** Ainsi, la croissance projetée de la consommation est de 27,8 % en Chine, de 22,4 % en Europe de l'Est, et de 14,8 % aux Etats-Unis. Les pays non annexe 1 devraient consommer 47 % de la production en 2020 (Watson et al)

Les améliorations technologiques ainsi que la diffusion du procédé « prebake » dans la production ont entraîné **une réduction significative de l'intensité énergétique pour la production d'aluminium dans toutes les régions du monde entre 1990 et 2003.** En particulier, en Chine, il y a eu une amélioration de 20 % de l'intensité énergétique entre 1980 et 2000. Les émissions de PFC ont aussi diminué de façon substantielle sur la même période (Figure 23). Ces tendances devraient continuer dans les prochaines années.

Figure 4: Trends in electricity intensity and PFC emissions for primary aluminium production

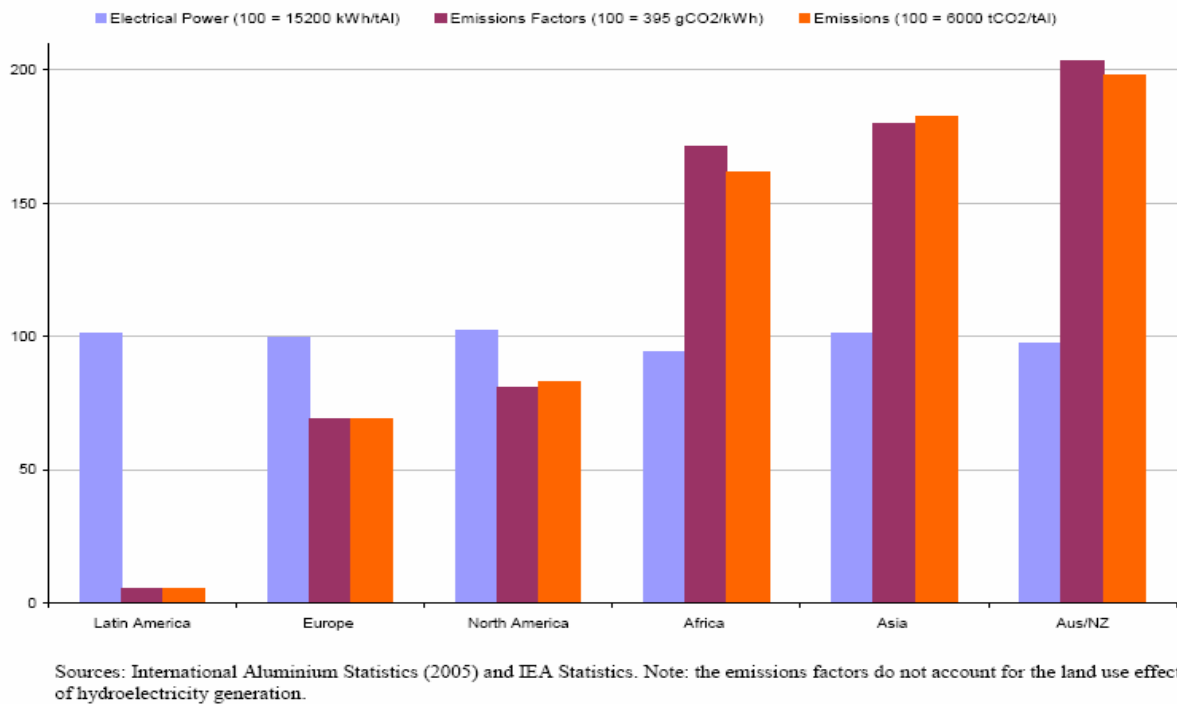


Source: calculated from statistics on IAI website and IAI 2005.

**Figure 23 : Tendence dans l'intensité électrique et les émissions de PFC pour la production primaire d'aluminium (source : Ellis et Baron)**

### 6.4. Comparaison des performances par pays

Les émissions liées au processus de fusion varient entre 0 et 20,8 tCO<sub>2</sub>/tonne d'aluminium et la moyenne mondiale est de 5,8 tCO<sub>2</sub>/t. Les émissions de PFC varient entre 0,02 et 24,5 tCO<sub>2</sub>/t avec une moyenne mondiale de 2 tCO<sub>2</sub>/t. Les émissions liées à l'oxydation de l'anode varient entre 1,7 et 2,1 tCO<sub>2</sub>/t. **Les performances des pays de l'OCDE ne sont pas particulièrement meilleures que celles des pays non OCDE.**

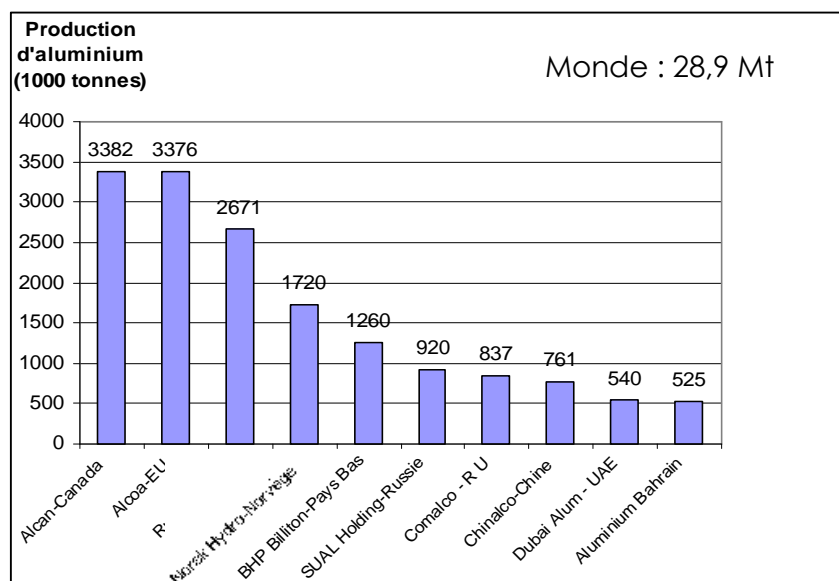


**Figure 24 : Intensités des émissions liées à la production primaire d'aluminium par région en 2003**

Les principales différences entre pays s'expliquent par **le contenu en carbone de l'électricité** : sur la figure 22, on voit que la consommation d'électricité est du même ordre de grandeur dans toutes les installations. En revanche, les émissions diffèrent largement d'un pays à l'autre selon le combustible utilisé : en Amérique latine où l'essentiel de la production provient d'hydroélectricité, les émissions sont pratiquement nulles.

### 6.5. Concurrence internationale

**Le prix de l'aluminium est mondial**, il est fixé au London Metal Exchange. **Les 10 premières compagnies produisent 55 % de l'aluminium mondial. Le secteur de l'aluminium est dominé par un petit nombre de compagnies, multinationales.** Les 2 plus grands producteurs Alcan et Alcoa sont présents dans 25 pays. Néanmoins, en Chine, Russie et Inde, il y a aussi des compagnies nationales.



**Tableau 9: Principaux producteurs d'aluminium mondiaux en 2004 et pays d'origine**

**L'aluminium est un des secteurs les plus internationalisé en terme de commerce et d'investissement : 77 % de l'aluminium est échangé à travers les frontières.** Les plus grands exportateurs sont la Russie (3,5 Mt), le Canada (2,2 Mt), l'Australie et la Nouvelle Zélande (1,8 Mt) et l'Amérique Latine (1,7 Mt). Les Etats-Unis (48,9 Mt), l'Europe de l'Ouest (30,3Mt) et le Japon (29,6 Mt) sont les plus gros importateurs.

### 6.6. Options pour un mécanisme sectoriel

Le risque de distorsion de concurrence est très fort dans le secteur de l'aluminium. D'ailleurs l'Union européenne a choisi, dans un premier temps, de ne pas l'inclure dans le marché de permis européen : cela peut s'expliquer en partie par ce risque mais aussi parce que l'essentiel des émissions provient de la production d'électricité (déjà comptabilisée par ailleurs dans le marché européen). Les émissions de PFC auraient pu être incluses mais le marché européen se concentre dans un premier temps sur le CO<sub>2</sub>.

Les questions de concurrence pourraient justifier la mise en place d'un objectif sectoriel au niveau mondial dans le secteur de l'aluminium. Néanmoins, la mise en place d'un objectif n'apparaît pas une priorité aujourd'hui car le secteur a développé une initiative volontaire ambitieuse pour réduire ses émissions. L'institut international pour l'aluminium regroupe 26 compagnies qui représentent 80 % de la production primaire d'aluminium mondiale. Ses membres se sont fixés comme objectif de réduire de 80 % des émissions de PFC et de 10 % l'énergie utilisée pour la fusion, par tonne d'aluminium produite (par rapport au niveau de 1990). Ces objectifs devraient être atteints en 2010. **Les participants ont déjà réduit leurs émissions de PFC en 2003 de 73 % comparé au niveau de 1990.** La forte concentration d'acteurs multinationaux est probablement la raison pour laquelle ce secteur a adopté un objectif volontaire de réduction de ses émissions.

#### Objectif à l'échelle des installations

Les nouvelles installations de production d'aluminium utilisent en général les meilleures technologies disponibles quelle que soit leur localisation géographique.

Dans l'hypothèse où on souhaiterait accompagner les évolutions actuelles par un objectif sectoriel, on pourrait fixer un objectif sectoriel en intensité **à l'échelle des installations**. Cet objectif sectoriel pourrait :

- Encourager la réduction du PFC dans la production primaire ;
- Encourager la rénovation des usines intensives en gaz à effet de serre ;
- Encourager le recyclage.

Vues les différences d'émission entre production primaire et secondaire, il sera nécessaire de développer deux benchmark distincts pour éviter que la production secondaire bénéficie d'un trop fort effet d'aubaine. Dans la mesure où l'aluminium est en forte concurrence avec des matériaux comme l'acier et le ciment, un objectif sectoriel contraignant ne paraît envisageable que si ces matériaux ont des objectifs avec des niveaux d'efforts comparables.

Prendre en compte les émissions liées à la production d'électricité pourrait inciter les producteurs à se localiser dans des pays où la production d'électricité est à faible contenu en carbone. Néanmoins, cela compliquerait grandement les inventaires et la comptabilité. Surtout, couvrir les émissions indirectes risque de poser des problèmes de

double compte (se reporter à la discussion sur le double compte dans le chapitre sur l'électricité).

Des méthodologies sont actuellement développées dans le cadre du MDP pour les émissions de PFC (1 a été acceptée.). Générer des crédits MDP pour des réductions d'émissions risque d'entraîner des distorsions de concurrence entre les acteurs qui ont fait la démarche spontanément dans le cadre de l'accord sectoriel, sans bénéficier de crédits, et les autres. C'est une des raisons pour laquelle le panel méthodologique a imposé un benchmark dynamique dans la méthodologie PFC présentée : le benchmark est basé sur la moyenne des émissions de PFC de la meilleure moitié des installations et est mis à jour chaque année. On pourrait retenir la même méthode dans le cadre d'un objectif sectoriel, en calant par exemple le benchmark sur la moyenne des 10 % des meilleures installations.

#### *Objectif à l'échelle des Etats*

On pourrait aussi envisager de fixer un objectif sectoriel national dans les pays pour inciter les gouvernements à développer le recyclage. Ceux-ci jouent en effet un rôle fondamental pour la récupération et le recyclage de l'aluminium.

## 7. Chimie

**L'industrie chimique est le deuxième plus gros secteur manufacturier consommateur d'énergie dans le monde avec 5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre.** Les émissions de gaz à effet de serre dans ce secteur incluent les émissions directes de CO<sub>2</sub> sur site, les émissions indirectes liées à la consommation d'électricité durant la production et les émissions d'autres gaz que le CO<sub>2</sub> dans les procédés (N<sub>2</sub>O, HFC). Les produits concernés sont l'éthylène et les autres produits pétrochimiques, l'ammoniac (engrais) et le chlore. Le N<sub>2</sub>O est le produit lors de la fabrication d'acide adipique et d'acide nitrique, le HFC23 est produit lors de la fabrication de HCFC22 ...

**La caractéristique la plus notable du secteur est la grande diversité de produits et de procédés.** Cette industrie comprend par exemple, les engrais, les pesticides, les produits pharmaceutiques, les plastiques, les résines, le caoutchouc synthétique, les réfrigérants, la peinture, les solvants, les parfums, le savon, les fibres synthétiques de même que les produits chimiques dérivés des combustibles fossiles comme l'éthylène le propylène, et le butylène. **A cause de cette grande diversité, il manque aujourd'hui de données fiables sur les émissions par sous secteurs (GIEC).**

Compagnie	Vente (milliards de dollars)	Pays d'origine
<b>Pfizer</b>	52,5	Etats Unis
<b>GlaxoSmithKline</b>	39	Royaume Uni
<b>BASF</b>	37,7	Allemagne
<b>Dow Chemical</b>	32,6	Etats-Unis
<b>Bayer</b>	32,3	Allemagne
<b>Merck</b>	30,9	Etats Unis/Allemagne
<b>Novartis AG</b>	28,2	Suisse
<b>DuPont</b>	27	Etats-Unis
<b>AstraZeneca</b>	21,4	Royaume Uni
<b>Shell</b>	20,8	Royaume Uni/Pays Bas
<b>ExxonMobil</b>	20,2	Etats-Unis
<b>Total/Arkema</b>	20,2	France
<b>Mitsubishi Chemical</b>	16,6	Japon
<b>BP</b>	15,5	Royaume Uni
<b>Akzo Nobel</b>	14,7	Pays Bas

**Tableau 10 : Première compagnies chimiques mondiales (source : WRI)**

La production est très concentrée en Europe (33 %), aux Etats-Unis (23,4 %) au Japon (10,4 %) et en Chine (7,7 %) qui sont responsables de 75 % de la production mondiale. Sur les 30 plus grandes compagnies, seulement 2 ne sont pas situées en Europe, au Etats-Unis ou au Japon.

A cause de la grande diversité des produits, il y a une faible concentration dans le secteur. **Les 15 plus grandes compagnies mondiales représentent seulement 20 % des ventes et sont positionnées sur des marchés très différents comme l'industrie pharmaceutique, l'industrie pétrochimique, les produits chimiques basiques.** En Europe, il y a 31000 industries chimiques et 96 % ont moins de 250 employés.

Néanmoins, les compagnies allemandes comme BASF et Bayer sont présentes dans 74 et 61 pays, de même Dow Chemical et Dupont, les compagnies américaines, sont présentes dans 32 pays. Les investissements directs à l'étranger sont passés à 420 milliards en 2002 et ont plus que doublé depuis 1990.

Les produits chimiques représentaient 15 % des échanges de produits manufacturiers avec une valeur de 800 milliards (dont 40 % intra UE). A cause de la grande diversité des produits beaucoup de pays sont à la fois importateurs et exportateurs.

## **Raffinage**

A l'intérieur du secteur de l'industrie chimique, le secteur qui se prêterait le plus à une approche sectorielle est le secteur du raffinage. Cette industrie consomme 15 à 20 % du pétrole et 5 à 7 % de l'énergie primaire mondiale. **Néanmoins, il n'a pas pu être traité, car il n'existe pas d'étude sur les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur.** Ce secteur est caractérisé par de nombreux coproduits, différentes configurations de raffineries.

### **Processus de production**

Le raffinage a pour objet de séparer et d'améliorer les produits composants le pétrole de façon à répondre à la demande en différents produits pétroliers (carburants, combustibles, matières premières pour la pétrochimie et autres produits spécifiques (bitume, huiles lubrifiantes)) à partir de bruts de compositions variables. En particulier, il est nécessaire de transformer des produits lourds en produits légers pour alimenter le marché des carburants. Le processus commence par la **distillation**. Une première distillation sous pression atmosphérique entre 70°C et 370 à 380°C, permet de recueillir différentes fractions : les légers (gaz, naphta et essences), les moyens (kérosène, diesel et fuel domestique) et les lourds (fuel lourd ou résidu atmosphérique). L'étape suivante est le **craquage** qui consiste à casser les chaînes carbonées des hydrocarbures de la charge pour obtenir des produits plus légers. Il peut être thermique (viscoréduction, cokéfaction) ou catalytique.

Le **craquage catalytique** est le procédé le plus fréquent pour convertir des coupes lourdes en produits plus légers. Il a lieu à 480°C-500°C en présence d'un catalyseur. Il produit une proportion de produits légers (essence) plus importante que d'autres procédés de conversion. Le craquage catalytique de gazoles lourds permet ainsi d'obtenir de l'essence (40 à 60 % de la masse initiale) ayant un indice d'octane supérieur à 90, du gazole et des sous-produits, notamment du coke. Le procédé FCC (Fluid catalytic cracking) est capable d'accepter et de traiter des fiouls ayant de plus fortes teneurs en soufre et en métaux que d'autres procédés de conversion de fiouls lourds. Le craquage catalytique de résidus (RCC) est une unité utilisée pour convertir des fractions plus lourdes, tels des résidus atmosphériques, en produits plus légers.

**L'hydrocraquage** a lieu sous une haute pression partielle d'hydrogène en présence d'un catalyseur. L'intrant principal est constitué des distillats sous vide (gazoles lourds). Il permet d'obtenir de l'essence à faible indice d'octane, du kérosène, du gazole et du fioul domestique. Ce procédé est très consommateur d'hydrogène. Il est nécessaire de désulfurer préalablement la charge pour éviter d'empoisonner le catalyseur d'hydrogénation.

**La viscoréduction** qui est un craquage thermique non catalytique à 470°C-480°C permettant de réduire la viscosité des résidus de distillation. On obtient ainsi des fiouls lourds qui, après avoir été mélangés avec du gazole (pour réduire à nouveau la viscosité), correspondront aux normes.

On peut distinguer cinq catégories de raffineries, en fonction de leur complexité :

- La raffinerie spécialisée dans la production de produits de base pour lubrifiants et de bitume. Elle comprend notamment une unité de distillation sous vide.
- La raffinerie simple, ou configuration 1. Elle effectue de la distillation atmosphérique et comporte également des unités d'amélioration de la qualité des produits : reformage catalytique et hydrodésulfuration (réduction de la teneur en soufre des gazoles). Ce type de raffinerie est typique de la période d'avant les chocs pétroliers.
- La configuration 2 (ou configuration de craquage catalytique) comprend, en plus du schéma de base, une unité de distillation sous vide, une unité de craquage catalytique fluide (FCC) et une unité de viscoréduction. Les unités de FCC sont prévues pour maximiser la quantité d'essence produite. L'unité de viscoréduction est là pour minimiser la production de fiouls lourds. C'est le type de raffineries le plus fréquent en Europe, et tout spécialement en France.
- La configuration 3 (ou configuration d'hydrocraquage) comprend, en plus du schéma de base, une unité de distillation sous vide, une unité d'hydrocraquage et éventuellement une unité de cokéfaction. Dans cette configuration une proportion encore plus importante des résidus atmosphériques est convertie en produits plus légers. L'unité de cokéfaction permet de se débarrasser des fiouls lourds en les convertissant en produits plus légers et en coke de pétrole.
- La configuration 4 (raffinerie complexe avec hydroconversion et IGCC) comporte une unité d'hydrocraquage et des capacités supplémentaires de conversion profonde (hydrocraquage de résidus et/ou IGCC). L'unité d'IGCC permet de traiter les résidus de la viscoréduction et de les transformer en gaz synthétique (H<sub>2</sub> et CO).

### **Répartition de la production par pays**

Début 2004, il existait 735 raffineries dans 128 pays avec une capacité de 82,3 barils par jours.

Les capacités de raffinage les plus importantes sont situées aux Etats-Unis (20,5 %), dans l'UE 25 (16,4 %), en Russie (6,6 %), au Japon (5,7 %) et en Chine (7,3 %).

### **Projections de croissance**

Dans le scénario de référence de l'AIE, les capacités de raffinage devront augmenter **de 93 millions de barils par jour à 118 millions de barils par jour en 2030**. Il est économiquement efficace de construire les raffineries près des centres de consommation car cela minimise les transports et les coûts de logistique. Néanmoins, à cause des



restrictions environnementales et des oppositions locales, il est très difficile aujourd'hui de construire de nouvelles capacités dans l'OCDE, et en particulier en Amérique du Nord.

Aujourd'hui, la demande s'oriente vers des produits plus légers pour les transports terrestre et aérien, ce qui entraîne des rénovations et transformations des raffineries. Les unités de conversion sont chères et se construisent sur plusieurs années. De plus, le pétrole actuellement extrait étant plus lourd et avec une teneur en soufre plus élevée, il est plus difficile à préparer. En parallèle, les exigences des pays quant à la teneur en soufre des carburants augmentent, ce qui demande aussi des investissements additionnels.

Les investissements nécessaires dans le secteur à l'horizon 2030 sont estimés à 487 milliards par l'AIE (soit 18,4 milliards par an). En particulier, les investissements en Chine devront être de l'ordre de 94 milliards d'ici 2030.

### **Comparaison des performances**

Il est difficile de comparer les performances entre les pays car le raffinage est une fonction complexe du produit final et de l'équipement. Le secteur du raffinage a un programme d'efficacité énergétique depuis de nombreuses années.

## 8. Transport : Véhicules légers

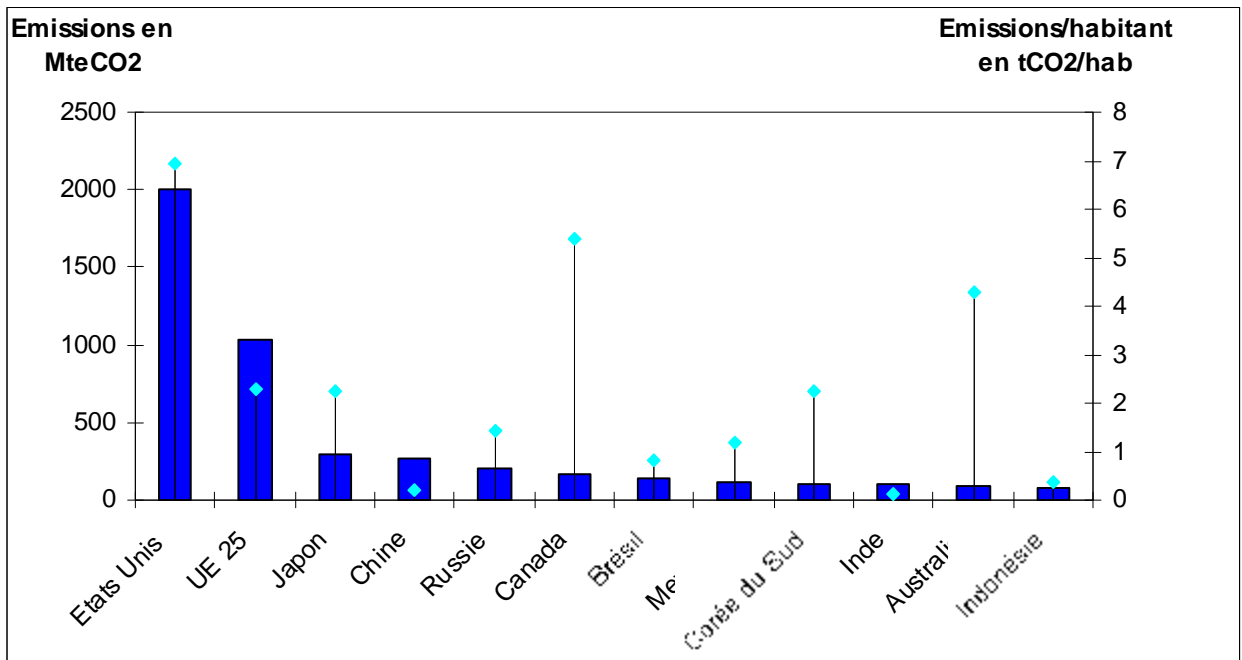
### 8.1. Émissions mondiales liées aux transports

Les émissions du secteur des transports étaient de **5 636 MteCO<sub>2</sub> en 2000** soit **13,5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre** et 18 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. C'est plus que les émissions annuelles chinoises (4966 MteCO<sub>2</sub>) et moins que les émissions américaines en 2000 (6931 MteCO<sub>2</sub>).

**Le transport routier est responsable de 72 % des émissions du secteur** (9,9 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre), et l'aviation de 12 % (1,6 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre).

### 8.2. Répartition de la production par pays

Les Etats-Unis sont responsables à eux seuls de 35 % des émissions liées au transport. Avec l'Australie, le Canada, ils dominent largement en terme d'émissions par habitant. A l'inverse, les émissions par habitant en Chine et en Inde demeurent encore très faibles (Figure 25).

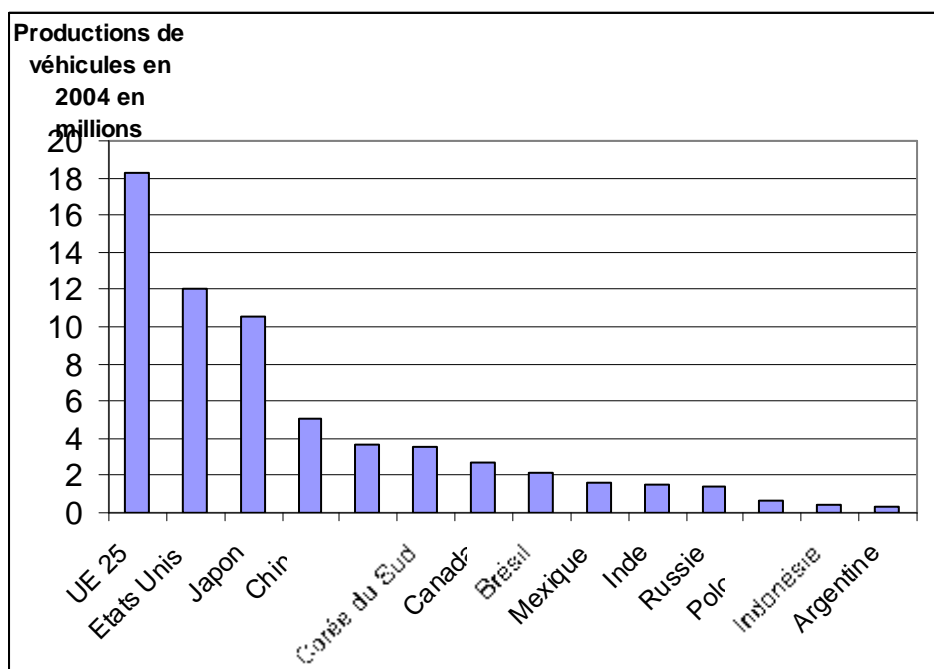


**Figure 25 : Emissions de CO<sub>2</sub> liées au transport par pays et par habitant en 2002**

Pays	% mondial en 2002	Croissance 1990-2002 en %	Croissance en 2002-2020 en %
Etats Unis	35,5	24	30
UE 25	18,3	23	31
Japon	5,1	20	
Chine	4,8	101	143
Russie	3,7	-29	49
Canada	3	21	
Brésil	2,6	60	77
Mexique	2,1	21	71
Corée du Sud	1,9	120	
Inde	1,9	15	92
Australie	1,5	23	29
Indonésie	1,4	109	122
<b>Monde</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>50</b>

**Tableau 11 : Emissions de CO<sub>2</sub> liées au transport par pays en 2002**

Les projections viennent de l'AIE. Les projections pour les Etats Unis incluent le Canada et celle de l'Australie la Nouvelle Zélande



**Figure 26 : Production de véhicules à moteur par pays (source : WRI)**

La production de véhicules à moteurs, comme les voitures particulières, les véhicules légers, les poids lourds et le bus est concentrée dans un nombre relativement limité de pays et d'entreprises. La production est dominée par l'UE 25 (18,3 millions), les Etats-Unis (12 millions de véhicules en 2004), le Japon (10,5 millions) et la Chine (5,1

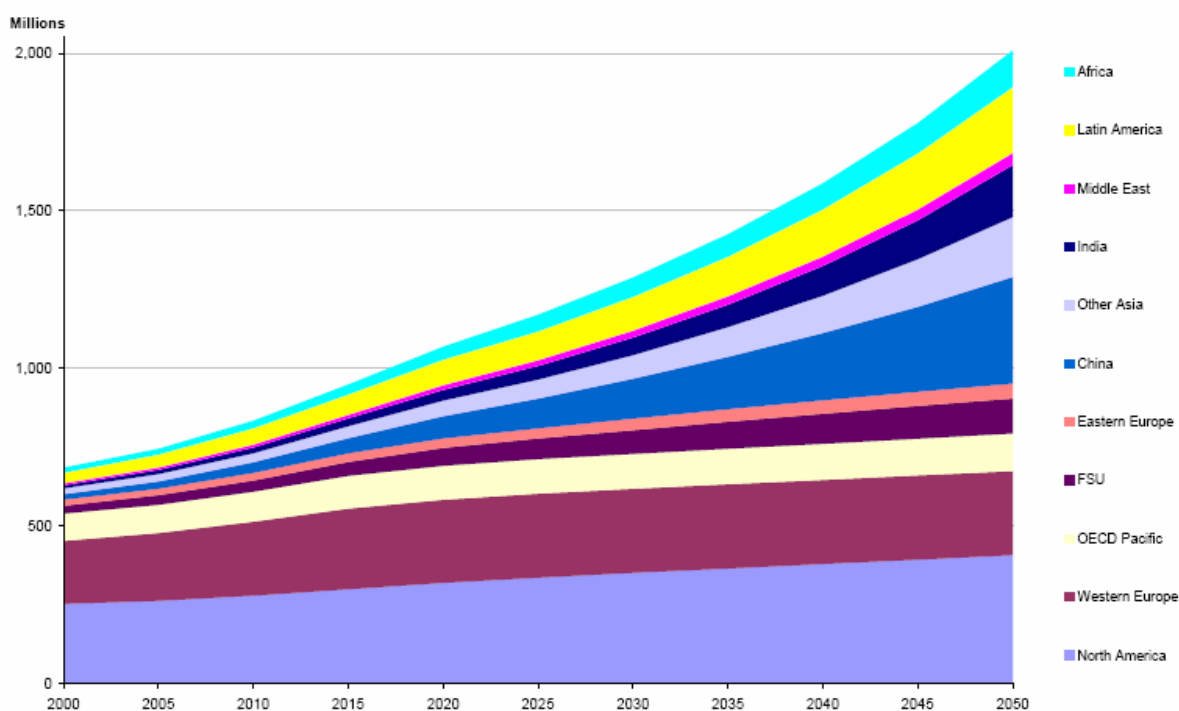
millions). La production de véhicules en Chine a augmenté de 175 % entre 1999 et 2004. La Corée du Sud, le Canada et le Brésil ont aussi une production significative.

### 8.3. Projections de croissance

La flotte a connu une croissance exceptionnelle entre 1950 et 1997 : elle a augmenté de 50 millions de véhicules à 580 millions de véhicules. Les ventes de véhicules en Chine sont passées de 700,000 en 2001 à 1,1 millions en 2002 et 1,7 millions en 2003.

Les déterminants de la mobilité sont notamment : **le niveau de revenu qui conditionne la propriété d'une voiture et les distances parcourues, les prix d'achat du véhicule, les taxes sur les carburants, les alternatives en terme de transport public, l'organisation spatiale.**

L'AIE projette une augmentation des **émissions mondiales du secteur des transports de 50 % en 2020**, dont une augmentation de 30 % dans les pays développés, 143 % en Chine, 67 % en Inde, 122 % en Indonésie, 71 % au Mexique et 68 % au Moyen Orient. **Les émissions des véhicules légers pourraient passer de 2800 MteCO<sub>2</sub> à 3900 MtCO<sub>2</sub> en 2020 et 5900 MtCO<sub>2</sub> en 2050, soit une augmentation de 110 % par rapport à 2000.**

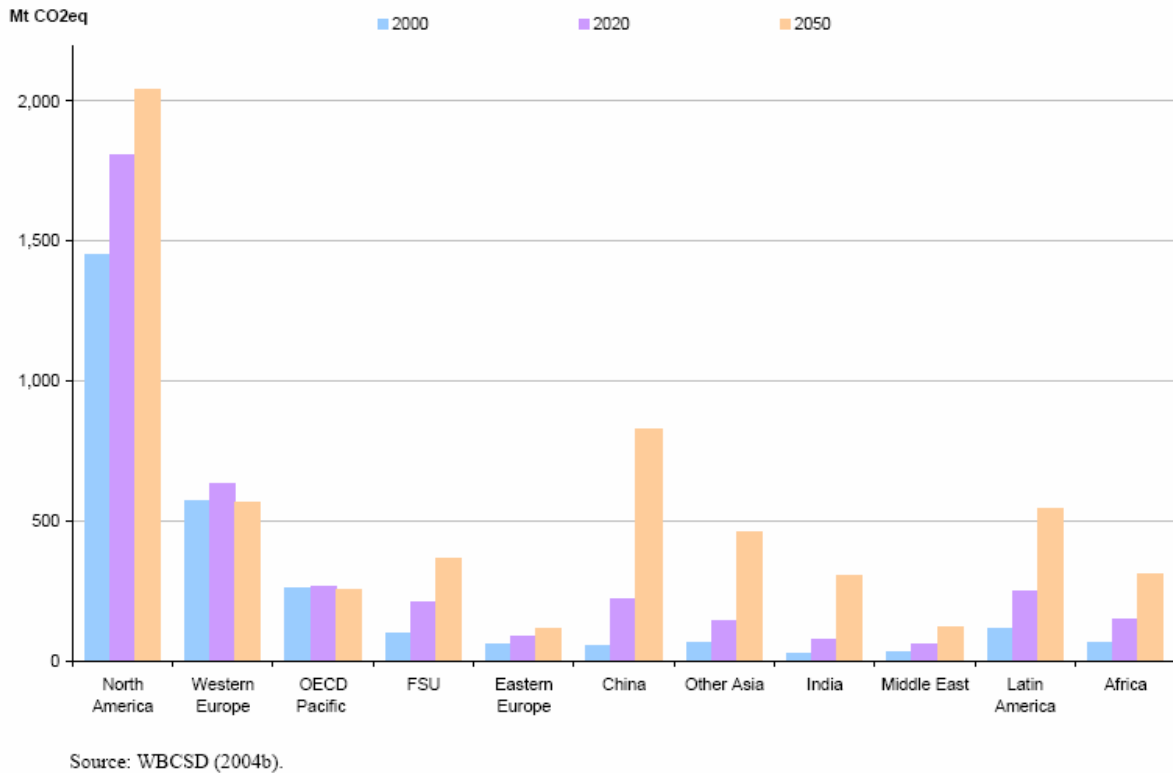


Source: WBCSD (2004b).

**Figure 27 : Projections sur le nombre de véhicules légers sur la période 2000-2050 (source : Watson)**

**Les ventes de véhicules pourraient passer de 50 millions de véhicules légers à 70 millions en 2020 et 140 millions en 2050.** En prenant en compte les taux moyens de sortie du parc, le nombre de véhicule en usage pourrait passer de 700 millions à 1 100 millions en 2030 et 2 000 millions en 2050. En 2050, 20 % des véhicules en usage seront situés aux Etats-Unis, 17 % en Chine, 13 % en Europe, 10 % en Amérique latine et 8 % en Inde.

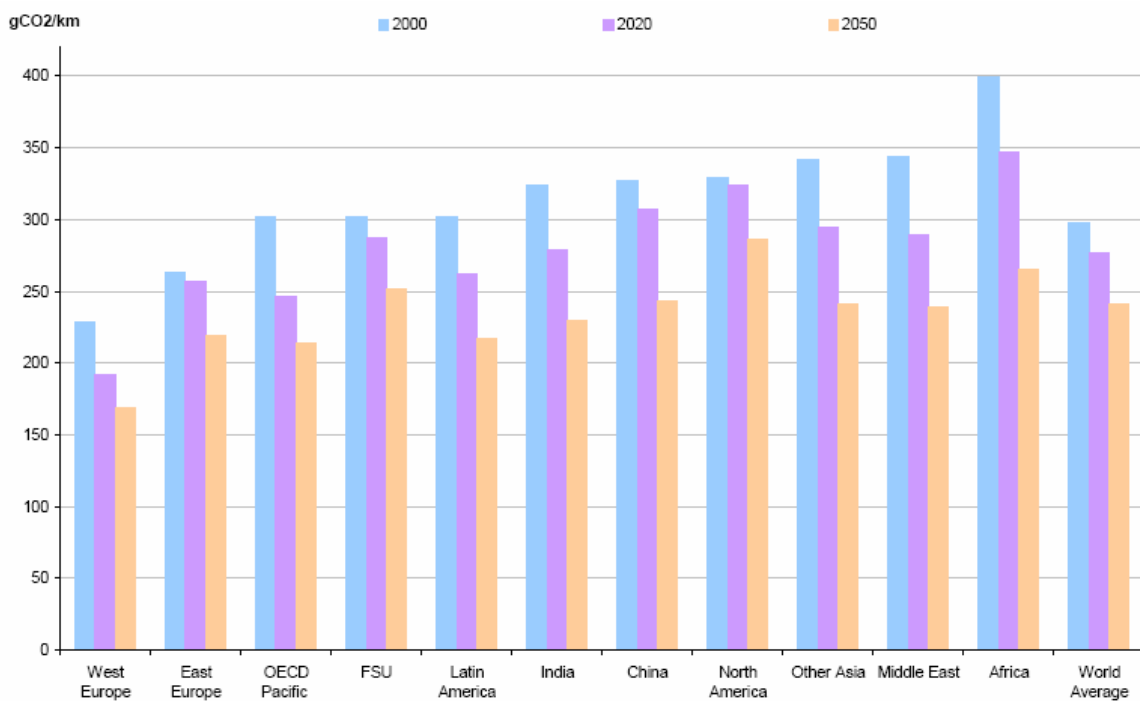
#### 8.4. Comparaison des performances par pays



**Figure 28 : Emissions de gaz à effet de serre (du puit à la roue) par région (source : Watson)**

Les émissions de gaz à effet de serre liées au transport ne sont que partiellement corrélées au niveau de richesse : en Europe par exemple, on voit que les projections de croissance à l'horizon 2020 demeurent très modérées. Les émissions de gaz à effet de serre sont fonction de deux facteurs : l'intensité des émissions de la flotte (Figure 29) et les kilomètres parcourus. Les différences de niveau d'émissions s'expliquent aussi par le ratio essence/gazole (toute chose égale par ailleurs, il existe un écart de plus de 20 % de consommation) : dans le monde, la part de l'essence est de 91 % mais elle n'est que de 58 % en Europe de l'Ouest. Enfin, le prix de l'essence est un des facteurs qui explique la mobilité : il s'échelonne entre 0,5 \$/l aux Etats Unis contre 1,55 \$/l aux Pays Bas fin 2004.

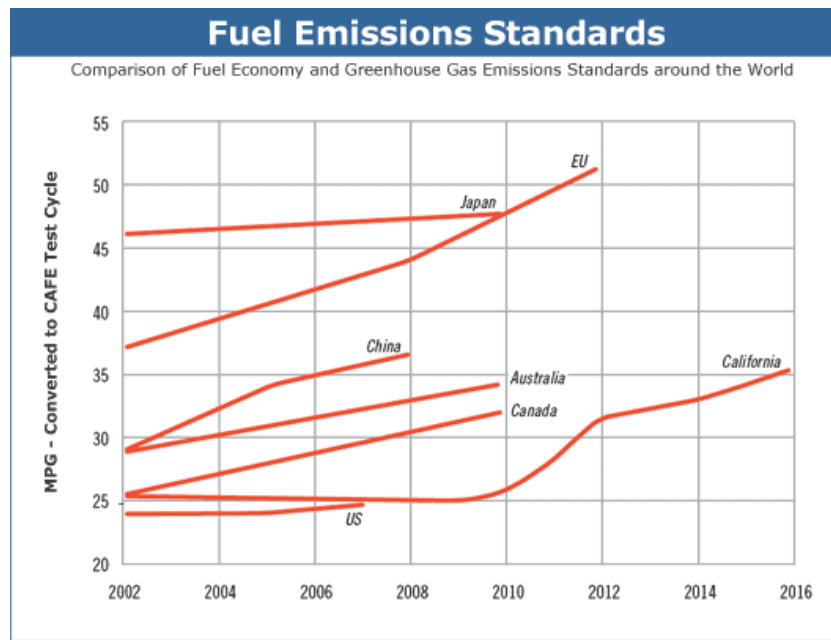
Aujourd'hui, la moyenne mondiale du parc est de 10,3 litres/100 km. L'Europe est très performante : elle est 23 % en dessous de ce niveau. A l'inverse, l'Afrique le dépasse de 35 %. Si les tendances se confirment, la moyenne du parc devrait baisser à 9,6 litres /100 km en 2020 et 8,4 litres /100 km en 2050.



Source: WBCSD (2004b).

**Figure 29 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (du puit à la roue) du stock de voitures par région (source : Watson)**

Les différences par pays s'expliquent en partie par les différences de réglementation (voir Figure 30).



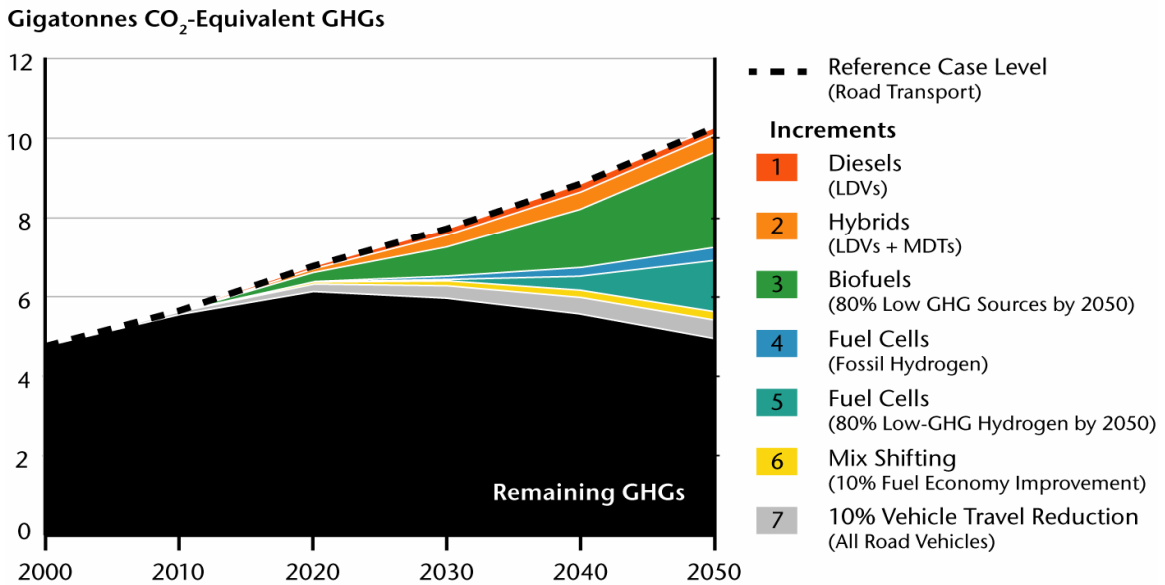
**Figure 30 : Comparaison des standards d'efficacité énergétique dans différents pays (Source : Pew center, WRI)**

L'Union européenne et le Japon sont les pays avec les standards les plus restrictifs. Les Etats-Unis ont aujourd'hui les standards les plus faibles (Californie exceptée). La Chine a des standards de plus en plus stricts : ces standards devraient permettre une réduction des émissions de 50 MteCO<sub>2</sub> en 2025.

### 8.5. Potentiel de réduction

La Figure 31 montre le potentiel de réduction de différentes technologies, en réponse aux prévisions de croissance. Elle fait ressortir qu'il existe bien un potentiel de réduction dans le secteur.

## SMP combined technology case



**Figure 31 : Potentiel de réduction des émissions**  
(source : étude *Mobilité 2030* du WBCSD, sur les modèles de technologie combinés.)

Watson (2005) a pris comme hypothèse de modélisation l'existence d'un standard mondial pour les véhicules et les camions de 140 gCO<sub>2</sub>/km en 2005-2020 ; ce standard serait diminué de 30 % dans chaque période de 25 ans suivante. Il trouve que les émissions mondiales seraient réduites de 8 % en 2050 par rapport au scénario tendanciel. Les niveaux de concentration en CO<sub>2</sub> seraient réduits de 5 % en 2050 par rapport au scénario de référence. Le coût serait de 2462 milliards en 2050. Selon le modèle, le coût marginal de réduction est 10 fois plus élevé que pour les centrales au charbon. (A noter : cette modélisation ne porte pas sur les comportements mais uniquement sur les ventes de véhicules, cela implique qu'en réalité le potentiel de réduction est beaucoup plus élevé).

Les travaux de CCAP (2006) montrent que les émissions liées au transport en Chine pourraient être réduites de 206 MteCO<sub>2</sub> en 2020 pour un coût de réductions de moins de 5 \$/tCO<sub>2</sub>. Cela représente une réduction de -30 % par rapport à la référence. Le potentiel de réduction est dans les politiques de développement du bus (*Bus rapid transit*), le changement de combustible des bus (du diesel au gaz naturel).

## 8.6. Concurrence internationale

5 multinationales, General Motors, Ford, Toyota, Volkswagen et DaimlerChrysler—produisent la moitié des véhicules à moteurs dans le monde.

Entreprises	Millions	% monde	Pays d'origine
<b>General Motors (Opel, Vauxhall)</b>	8,1	12,6	Etats Unis, Allemagne
<b>Toyota</b>	6,8	10,6	Japon, Etats-Unis
<b>Ford (Volvo, Jaguar)</b>	6,6	10,4	Etats-Unis, Allemagne
<b>Volkswagen Group (VW, Audi)</b>	5,1	7,9	Allemagne, Espagne, Chine
<b>DaimlerChrysler (Evobus)</b>	4,6	7,2	Etats-Unis, Allemagne
<b>PSA Peugeot Citroen</b>	3,4	5,3	France, Espagne
<b>Honda</b>	3,2	5	Japon, Etats-Unis
<b>Nissan</b>	3,2	5	Japon, Etats-Unis
<b>Hyundai Kia</b>	2,8	4,3	Corée du Sud
<b>Renault Dacia-Samsung</b>	2,5	3,9	France, Espagne
<b>Fiat Iveco irisbus</b>	2,1	3,3	Italie Brésil
<b>Suzuki-Maruti</b>	2	3,1	Japon Inde
<b>Total</b>	<b>50,4</b>	<b>78</b>	

**Tableau 12 : Premiers constructeurs automobiles mondiaux (Source : WRI)**

Les échanges de produits automobiles se sont montés à 724 milliards de dollars en 2003, soit 10 % du commerce mondial. 37 % de ces échanges avaient lieu à l'intérieur de l'Europe et 13 % en Amérique du Nord. Les flux entre l'Europe et l'Amérique du Nord, de même qu'entre l'Asie et l'Amérique du Nord sont significatifs. Les plus grands exportateurs en 2003 étaient l'UE 15 (125 milliards de dollars), le Japon (103 milliards) et les Etats-Unis (39 milliards). Au Mexique, 60 % de la production est exportée. Les plus grands importateurs étaient les Etats-Unis (181 milliards), l'UE 15 (67 milliards) et le Canada (49 milliards).

## 8.7. Opportunités de mise en place d'un objectif sectoriel

Le secteur de la construction automobile est un secteur très concurrentiel. Les marges de manœuvre sont néanmoins plus grandes dans ce secteur que dans les autres puisqu'on peut mettre en place des standards d'efficacité énergétique qui sont discriminants envers les voitures peu efficaces énergiquement. On a aussi la possibilité de **taxer à la frontière les voitures très émettrices** puisque les émissions dépendent de la voiture et non des procédés et méthodes de production comme c'est le cas pour l'acier ou l'aluminium (voir annexe 1).

Dans ce secteur, le nombre de constructeurs étant relativement restreint, la mise en place de standards d'efficacité énergétique dans certains pays s'étend dans les autres : l'Union européenne a développé un accord volontaire avec les constructeurs



automobiles qui porte aussi sur les constructeurs japonais et coréens qui exportent leur production en Europe. Ainsi, il suffirait globalement que l'Europe, les Etats-Unis, le Japon et la Chine mettent en place des standards d'efficacité énergétique pour que ces politiques aient un impact mondial. **Dans ce domaine, la coopération entre grands pays producteurs apparaît donc comme essentielle.**

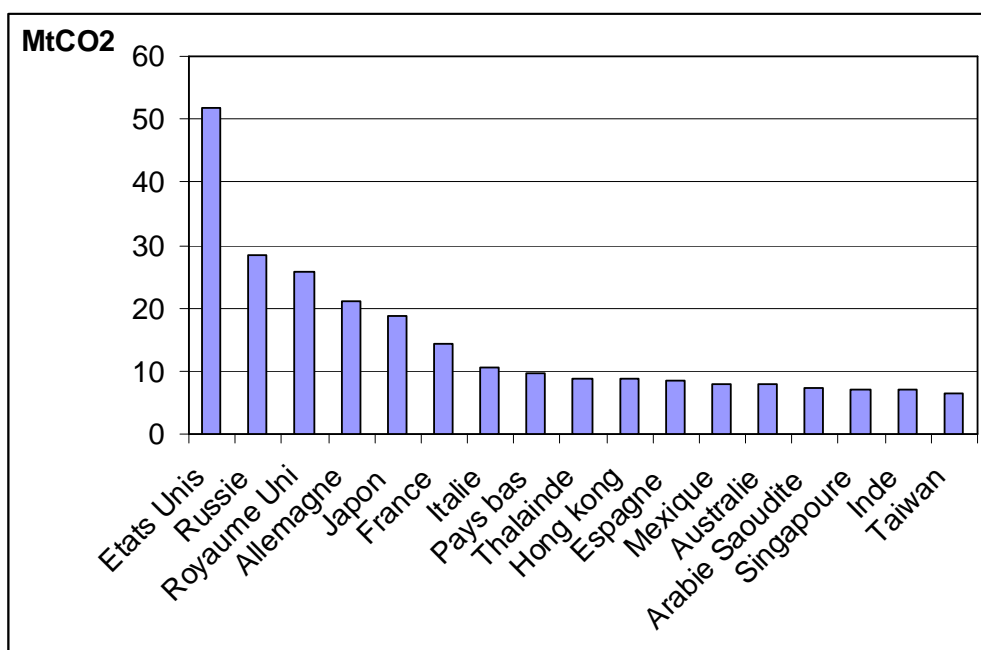
Une piste actuellement envisagée au niveau de l'Union européenne serait de mettre en place un marché de permis sur les constructeurs automobiles européens par rapport à un standard d'efficacité énergétique : les constructeurs en dessous du standard bénéficieraient de crédits et ceux qui le dépassent devraient acheter des permis. Dans le cadre d'un accord sectoriel, on pourrait travailler au niveau international sur le développement de marchés de permis similaires au marché envisagé au niveau européen dans les autres pays (pourquoi pas aux Etats-Unis ou en Chine).

## 9. L'aviation

### 9.1. Émissions mondiales liées à l'aviation

D'après l'AIE, les émissions totales de l'aviation (transport aérien intérieur et international des Pays de l'Annexe 1 et pays Non Annexe 1) s'élevaient à **652,9 MtCO<sub>2</sub> en 2002, soit 2,0 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre** et 2,5% des émissions de CO<sub>2</sub> (c'est à peu près autant que les émissions nationales françaises). Les émissions du trafic international étaient de 354,4 MtCO<sub>2</sub>. Dans le protocole de Kyoto, seules les émissions de gaz à effet de serre domestiques sont comptabilisées dans les inventaires nationaux des parties ; les émissions internationales ne sont pas soumises à une obligation de maîtrise ou de réduction.

### 9.2. Répartition des émissions par pays et de la production d'avion



**Figure 32 : Emissions imputables aux soutes aéronautiques internationales en 2001 (Source : AIE).**

La Figure 32 montre la répartition des émissions des vols internationaux pour les pays les plus émetteurs. Elle fait ressortir l'importance de la flotte américaine mais aussi l'importance des flottes de pays qui ne sont pas dans l'annexe 1 (et n'ont donc pas d'engagements de réduction de leurs émissions) : la Thaïlande, Hong Kong, le Mexique et l'Arabie Saoudite. Les émissions des 10 plus gros émetteurs représentent 55 % des émissions mondiales et les émissions des 20 plus gros 74 %.

	Total aviation		Aviation internationale	
	% mondial	% de changement depuis 1990	% mondial	% de changement depuis 1990
<b>Etats-Unis</b>	37,2	7	14,3	31
<b>UE 25</b>	20,3	49	30,3	59
<b>Japon</b>	5	42	6	59
<b>Royaume –Uni</b>	4,9	54	6,1	65
<b>Russie</b>	4,5		8,3	
<b>Allemagne</b>	3,3	25	5,9	48
<b>France</b>	3,1	69	4,1	52
<b>Chine</b>	2,8	611	0,8	442
<b>Canada</b>	2,4	19	0,8	3
<b>Espagne</b>	2	75	2,3	137
<b>Total</b>		<b>38</b>		<b>387</b>

**Tableau 13: Emissions du secteur de l'aviation en 2002, tendances (source : WRI)**

Le secteur de l'aviation a des caractéristiques communes avec le secteur des véhicules à moteurs : les produits sont uniformes, la production est très concentrée : il y a 5 compagnies en Amérique du Nord et en Europe. Boeing et Airbus produisent tous les avions de plus de 100 sièges. Les compagnies qui produisent tous les petits avions sont Bombardier (Canada), Embraer (Brésil), and Gulfstream (Etats-Unis). Ces constructeurs ont produit les 16 000 avions en service dans le monde en 2003. Selon les projections de l'industrie, la demande pourrait être de 24 000 avions en 2023.

Les États Unis exportent 40 % de leur production, dont la moitié vers les pays en développement ; l'Europe et le Canada en exportent 50 %.

### 9.3. Projections de croissance

Sur la période 1990-2002, **les émissions de CO<sub>2</sub> ont augmenté de +27 %**, c'est deux fois moins que l'augmentation du trafic (+55 %). Les gains d'efficacité énergétique ont été particulièrement importants pour le trafic international (+24 % en termes de CO<sub>2</sub> entre 1990 et 2002 et +85 % pour le trafic). Le cas du trafic intérieur est très différent : les émissions de CO<sub>2</sub> (+32 %) progressent plus rapidement que le trafic (+22 %). Cette situation s'explique en grande partie par l'importance du trafic intérieur des États-Unis exploité avec une flotte ancienne aux faibles performances énergétiques.

Selon le groupe prospectif de l'OACI, **les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation mondiale atteindraient 718,7 MtCO<sub>2</sub> en 2010, 1000 MtCO<sub>2</sub> en 2020 et 1500 MtCO<sub>2</sub> en 2050** (scénario central de l'OACI). Entre 1990 et 2050, les émissions du transport aérien pourraient être multipliées par un facteur proche de 3.

Selon le GIEC, une amélioration de 20 % de l'efficacité des avions est attendue d'ici 2015, et jusqu'à 30 à 50 % en 2050. Néanmoins, ces améliorations ne seront pas suffisantes pour empêcher les émissions d'augmenter de façon significative. La croissance du secteur serait de 5 % par an, avec le fret qui grandirait encore plus vite que le trafic passager.

#### 9.4. Comparaison des performances par pays

Il n'existe pas de données sectorielles permettant de comparer les performances des pays.

#### 9.5. Opportunités de mise en place d'un mécanisme sectoriel

Une des raisons pour laquelle le secteur de l'aviation n'a pas été inclus dans les objectifs des pays développés pour la première période d'engagement du protocole de Kyoto est que les parties n'ont pas réussi à se mettre d'accord sur une **règle d'allocation des émissions**. De plus, le transport aérien est un secteur où les **distorsions de concurrence sont potentiellement très importantes**. Idéalement, tous les opérateurs qui effectuent une même route devraient être soumis à la même contrainte en terme d'émission de CO<sub>2</sub>. Le principe de «responsabilités communes mais différenciées», principe clé de la convention climat, apparaissait donc particulièrement problématique pour ce secteur. C'est pourquoi les parties ont demandé à l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) de se saisir de la question. Idéalement, elles auraient souhaité que l'OACI coordonne la mise en place d'un instrument économique de réduction des émissions au niveau international pour limiter les distorsions de concurrence (marché de permis, taxe ou redevance). Malheureusement, les progrès à ce jour dans le cadre l'OACI ont été très faibles. En l'absence de progrès au niveau international, l'Union européenne a décidé d'étendre le marché de permis des industriels européens au transport aérien et commence à discuter un projet de directive européenne en ce sens.

La question de l'inclusion possible des émissions du secteur de l'aviation internationale dans les objectifs des parties est posée actuellement dans le cadre des réflexions sur le régime futur, après 2012. Le problème des distorsions de concurrence dans le secteur justifierait de développer une approche sectorielle. L'objectif sectoriel pourrait peser directement sur les compagnies aériennes (ou les opérateurs aériens) car ce sont les acteurs qui ont les marges de manœuvre les plus importantes pour réduire les émissions. Là aussi, on pourrait envisager de développer **un objectif en intensité contraignant**. Le secteur étant très homogène, on pourrait envisager de développer un **benchmark unique** ou au moins un nombre de benchmark très réduit : certains pays en développement ont des flottes très anciennes, ce qui pourrait nécessiter un benchmark spécial. De plus, les petits Etats insulaires pourraient aussi demander un traitement différencié puisqu'ils seraient subiraient un impact plus important que les autres pays de part leur situation géographique.

#### IV. Discussion et Conclusion

Un des principaux enjeux des négociations sur l'après 2012 est **de donner de la certitude** aux milieux industriels pour qu'ils investissent dans les technologies propres, que ce soit dans les pays développés ou en développement. C'est d'autant plus important que le stock de capital se renouvelle lentement dans de nombreuses industries. Adopter de nouvelles technologies présente un risque pour les industriels, ce risque lui-même dépend de la période de temps sur laquelle l'investissement sera rentabilisé... Souvent les technologies les plus modernes ont une durée de retour sur investissement plus longue et représentent donc un coût plus important. C'est pourquoi il est nécessaire de **développer rapidement des instruments économiques** pour inciter les industriels à les adopter. Pour stabiliser l'augmentation de la température moyenne mondiale à 2°C, l'Union européenne considère qu'il faut diviser les émissions mondiales entre 15 % et 50 % par rapport au niveau de 1990 à l'horizon 2050. Or, les installations industrielles ont des durées de vie de l'ordre de 30 ans. Dans la mesure où les installations construites en 2020 existeront encore en 2050, il faut donner des signaux clairs aux industriels dans le monde entier pratiquement dès 2012.

Un autre enjeu est de minimiser les distorsions de concurrence générées par la contrainte carbone : le risque de délocalisation est un argument trop souvent avancé par les pays pour refuser d'agir. Les craintes de distorsion de concurrence proviennent en partie de la forme du protocole qui ne fait pas intrusion dans les politiques domestiques nationales : les secteurs soumis à une concurrence internationale (ciment, acier..) ont peur de subir un coût, du fait de la politique de lutte contre le changement climatique, supérieur à leurs concurrents. Au-delà de la flexibilité concernant les moyens, cette inquiétude concernant la concurrence internationale vient surtout du fait que certains pays ont des engagements quantitatifs et d'autres non, alors qu'ils ont aussi des opérateurs sur la scène internationale.

Ce problème des distorsions de concurrence ne sera vraisemblablement pas résolu sur le court terme. En effet, pour éviter toute distorsion, il faudrait développer dans les secteurs industriels concernés un accord sectoriel mondial contraignant qui pèserait sur tous les acteurs du secteur et où les allocations seraient **harmonisées**. Or, même si une telle approche était acceptable politiquement (ce qui n'est pas le cas), elle se heurterait à de gros problèmes techniques insolubles autour de **la question de l'équité** étant données les disparités actuelles des performances des pays. Les enjeux de répartition des droits d'émettre sont des enjeux à la fois politiques et économiques. Le benchmark n'est pas plus justifié, du point de vue de l'équité, qu'un autre critère d'allocation (tout au moins sur le court terme). D'ailleurs, c'est probablement la raison pour laquelle le *benchmarking* n'a pas été retenu par les gouvernements européens dans le marché européen dans un premier temps : ce système pose des problèmes d'acceptabilité et suppose des négociations très longues avec les secteurs.

Dans ce document de travail, l'analyse est concentrée sur une partie seulement des émissions de gaz à effet de serre mondiales : le secteur de la production d'électricité (25 % des émissions mondiales) ; les secteurs de l'acier, du ciment, et de l'aluminium ( 7,8 %) ; et les véhicules à moteurs et le transport aérien (14 %), soit un total de 46,8 % des émissions mondiales. **L'étude fait tout d'abord ressortir le rôle primordial de la Chine dans tout accord sectoriel** : la Chine est le premier producteur mondial de ciment, d'acier et d'aluminium, c'est le deuxième producteur mondial d'électricité. Par ailleurs, l'analyse montre que dans chaque secteur ou sous secteur, **les performances des pays sont très**

**variables.** Certains pays en développement ont de très bonnes performances : le Brésil et l'Argentine dans la production d'électricité, l'Amérique latine pour la production d'acier ou l'aluminium. (Le Brésil a de bonnes performances grâce à l'utilisation de charbon bois, ce qui pose question étant donné le niveau de déforestation du pays). A l'inverse, certains pays développés ont aussi de mauvaises performances : l'Australie pour la production d'électricité, la production d'acier et la production d'aluminium, les Etats-Unis pour la production de ciment et les standards énergétiques sur les voitures... Les mauvaises performances des pays s'expliquent parfois par un effet « parc » : un pays qui a construit toutes ses installations industrielles il y a 30 ans aura de mauvaises performances jusqu'à la date de renouvellement de son parc industriel. Il n'y a aucun secteur où un benchmark unique apparaît de façon évidente. Par ailleurs, dans quasiment chaque secteur (transports excepté), certains facteurs qui influencent les performances ne sont pas du ressort des gouvernements ou des industriels et dépendent des ressources naturelles locales.

Un autre point marquant est **le manque de données** (même si ce document de travail peut donner l'illusion que les données existent, elles sont en réalité encore très parcellaires et peu solides). Watson explique par exemple que les données liées aux procédés de production de l'aluminium sont incomplètes par région et pays ou encore que les données sur l'intensité de l'industrie de l'acier ont 10 ans et ont été récupérées sur des bases de données privées. De même, il manque aujourd'hui des données sur les émissions du secteur du raffinage. Il est vrai que la question des données dans le domaine industriel est relativement sensible car elle touche au secret des affaires. Le partenariat Asie Pacifique actuellement développé par les Etats-Unis pourrait d'ailleurs être utile sur ce point car, à dire d'expert, c'est une des premières fois que la Chine collabore véritablement et donne des données sur ses secteurs industriels.

Dans le secteur électrique, les enjeux en terme de distorsion de concurrence sont faibles mais l'enjeu quantitatif est énorme. Il est donc urgent d'agir dans ce domaine. Une approche sectorielle au niveau des Etats pourrait être intéressante pour inciter les Etats à faire évoluer leur mix énergétique par des politiques et mesures ou à effectuer de gros investissements dans le domaine de la production d'électricité. L'autre approche à explorer sérieusement est de faire évoluer le MDP vers un système de benchmarks. La proposition d'objectifs contraignants ne paraît pas crédible politiquement à court terme, surtout concernant les centrales existantes.

Dans les secteurs industriels, le ciment, l'acier, et l'aluminium se prêteraient le mieux à une approche sectorielle. Ces secteurs sont caractérisés par une forte concentration des acteurs, une exposition à la concurrence internationale (plus faible pour le ciment) et un nombre de produits et de procédés relativement réduit. Pour ces trois secteurs, on pourrait tenter dans un premier temps de faire évoluer le mécanisme MDP vers un système de benchmark. Puis, dans un deuxième temps, le benchmark pourrait devenir contraignant en particulier pour les nouvelles installations. Cela reviendrait à développer un marché de permis contraignant au niveau des industriels, calé sur un benchmark en intensité. Un objectif contraignant serait la solution la meilleure pour les pays développés. Politiquement, elle ne paraît acceptable par les pays en développement qu'en échange de véritables concessions de la part des pays développés sur les questions de transferts de technologies ou encore d'aides financières aux modernisations... Par ailleurs, il est nécessaire de rappeler que la mise en place d'un marché n'est envisageable que dans les pays qui ont la capacité institutionnelle pour mettre en place un tel système, c'est à dire notamment des mécanismes de contrôle des émissions et de sanction crédibles. En

Europe, la mise en place du marché européen a été grandement facilitée par l'existence préalable de la directive IPCC.

Dans l'industrie chimique, il manque encore trop de données pour effectuer une analyse. Cela s'explique par la très grande diversité des acteurs. On pourrait néanmoins travailler sur des approches sectorielles dans des sous secteurs comme les engrais ou encore le raffinage. Il serait intéressant dans les années à venir de travailler **à la collecte de données**.

Dans le secteur des transports, deux sous secteurs se prêteraient à une approche sectorielle : les véhicules motorisés et le transport aérien car ils sont caractérisés par un faible nombre d'acteurs (les constructeurs, les compagnies aériennes), une forte exposition à la concurrence internationale, et leurs produits sont peu différenciés. Dans le secteur des véhicules motorisés, le développement de standards en gCO<sub>2</sub>/km pourrait être coordonné au niveau international. L'aviation se prêterait très bien à une approche sectorielle. C'est d'ailleurs une des raisons pour laquelle le secteur n'a pas été inclus dans le protocole de Kyoto dans un premier temps. Néanmoins, l'inclusion de ce secteur pose aujourd'hui un vrai problème politique : l'Arabie saoudite est opposée à tout avancée des négociations sur le sujet. C'est d'ailleurs une leçon à retenir pour la deuxième période d'engagement : il est dangereux de sortir des sous secteurs de la négociation car les intérêts particuliers des pays prennent le dessus et il n'est plus possible d'arriver à un accord. C'est pourquoi, si les parties au protocole décident de développer des approches sectorielles dans certains secteurs après 2012, il est essentiel que la décision se fasse au sein d'un paquet global.

## V. Bibliographie

- Baron R (2006), *Compétitivité et politique climatique*, les notes de l'IDDRI n 11.
- Baron et Ellis (2006) *Sectoral crediting mechanism for greenhouse gas mitigation : institutional and operational issues*. OCDE. Annex 1 expert group.
- Baumert K, Herzog T, Pershing J. (2005). *Navigating the Numbers. Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*; WRI.
- Berthier A (2006), *Protection de la compétitivité industrielle, politique climat et OMC*, document de travail D4E.
- Bosi M et Ellis J (2005) *Exploring options for "sectoral crediting mechanisms"* OCDE. Annex 1 expert group.
- Bureau D, Mougeot M, (2004) *Politiques Environnementales et compétitivité*. Rapport du CAE 54.
- CCAP (2006), *Greenhouse gas Mitigation in Brazil, China and India, Scénarios and opportunities through 2025*.
- Ellis, J. (2001), *An Initial View on Methodologies for Emission Baselines: Cement case study*, OECD/IEA, Information Paper, OECD/IEA, Paris.
- Ellis J et Baron R (2005) *Sectoral crediting mechanisms: an initial assessment of electricity and aluminium*. OCDE. Annex 1 expert group.
- Godard O (2002), *Le changement planétaire. Le commerce de permis d'émission au service de la protection d'un bien collectif*. Revue d'économie financière. « Johannesburg 2002 : écologie et finance », (66).
- OECD/IEA (2001), *An Initial View on Methodologies for Emission Baselines: Iron and steel case*, OECD/IEA, Paris.
- Mathiesen et Maetas (2004), *Climate policy and the steel industry : achieving global emission reductions by an incomplete climate agreement*. The energy journal, vol 25, N4
- Philippe Quirion et Jean-Charles Hourcade *Limitation des émissions de CO2 et compétitivité de l'industrie européenne – quantification et comparaison aux fluctuations des taux de change*
- Reinaud (2004) *Industrial competitiveness under the European union emissions trading scheme*. AIE, information paper.
- Schmidt J, Helme N, lee J, houdashelt M, (2006) *Sector based approach to the post 2012 climate change policy architecture*, CCAP.
- Watson, C, Newman J, Upton RHS, et Hackmann P (2005) *Can transnational sectoral agreements help reduce greenhouse gas emissions?*, Round table on sustainable development. OCDE.



## **Annexe 1 : Est –il possible de mettre en place un ajustement fiscal à la frontière pour des produits intensifs en CO<sub>2</sub> ? (source : Berthier et Cros 2006)**

Pour pallier les pertes de compétitivité, occasionnées par l'application du protocole de Kyoto via la directive permis d'émissions en Europe, il a été suggéré par plusieurs études que des mécanismes compensatoires pourraient prendre la forme d'un **ajustement de taxe à la frontière** c'est-à-dire une taxation des importations **proportionnellement à leur contenu en gaz à effet de serre** et une détaxation à l'exportation des biens taxés. Néanmoins, cela présente, dans le cadre de l'OMC, des difficultés aussi bien techniques que juridiques.

La première difficulté posée est que l'ajustement fiscal à la frontière est justifié dans la mesure où un pays a mis en place une taxe carbone sur ses produits nationaux. Or l'Union européenne a décidé dans le cadre de la directive quotas de développer **un marché de permis d'émissions**. Il serait beaucoup plus facile de justifier un tel ajustement si les permis étaient **alloués aux enchères** et pas gratuitement, comme c'est le cas aujourd'hui.

### **Les difficultés juridiques**

L'article II : 2 du GATT réglemente l'imposition de taxes et dispose qu' *« aucune disposition du présent article n'empêchera une partie contractante de percevoir à tout moment, à l'importation d'un produit :*

*a) une imposition équivalant à une taxe intérieure frappant, en conformité du paragraphe 2 de l'article III, un produit national similaire ou une marchandise **qui a été incorporée** dans l'article importé ».*

Ainsi, les membres de l'OMC conviennent que les pays ont le droit de définir des critères quant à la façon dont les produits sont fabriqués et donc de procéder à des ajustements fiscaux à la frontière **lorsque les processus de production laissent une trace dans le produit final**. C'est le cas par exemple de l'utilisation de pesticides dans la culture du coton, lorsqu'il reste des traces de pesticides dans le coton lui-même.

En revanche, **les Etats sont en désaccord au sujet des mesures basées sur ce que l'on appelle les « procédés et moyens de production non incorporés »**, c'est-à-dire des procédés et moyens de production qui ne **laissent pas de trace** dans le produit final. Selon l'Article III :2 : *Les produits du territoire de toute partie contractante importés sur le territoire de toute autre partie contractante ne seront pas frappés, directement ou indirectement, de taxes ou autres impositions intérieures, de quelque nature qu'elles soient, supérieures à celles qui frappent, directement ou indirectement, les produits nationaux similaires*. La notion de « similarité » occupe une place centrale dans le droit de l'OMC. Lorsque les produits ne sont pas similaires, l'Etat importateur peut imposer des taxes à condition qu'elles soient compatibles avec les autres règles de l'OMC. Le champ de la similarité est-il limité aux produits ou inclut-il les procédés et moyens de production non incorporés ? Le rapport du groupe de travail sur les ajustements fiscaux à la frontière, adopté par les parties contractantes en 1970 pose le principe fondamental pour l'interprétation de la formule "produits similaires" ; or il en ressort que les « propriétés » du produit sont comprises comme ses propriétés physiques et n'incluent donc pas les procédés et moyens de production non incorporés.

Si l'ajustement à la frontière était considéré comme incompatible avec l'article III :2, une taxe à la frontière pourrait peut être justifiée au regard de l'article XX. **L'article XX constitue le régime d'exception de l'OMC** et permet aux Membres d'adopter des **mesures protectrices de l'environnement**. Deux paragraphes de cet article, les paragraphes b) et g), concernent l'environnement. Les mesures pour être justifiées :

Au regard du §b doivent être « *nécessaires à la protection de la santé et de la vie des personnes et des animaux ou à la préservation des végétaux* ».

Au regard du §g doivent se rapporter « *à la conservation des **ressources naturelles épuisables**, si de telles mesures sont appliquées conjointement avec des restrictions à la production ou à la consommation nationales* ».

L'article XX est en outre, composé d'un texte introductif, le « chapeau », qui pose que : « *Sous réserve que ces mesures ne soient pas appliquées de façon à constituer soit un moyen de discrimination arbitraire ou injustifiable entre les pays où les mêmes conditions existent, soit une restriction déguisée au commerce international, rien dans le présent Accord ne sera interprété comme empêchant l'adoption ou l'application par toute partie contractante des mesures* ».

Dans l'affaire de la crevette, l'organe d'appel a ainsi évolué vers une possibilité de prise en compte des procédés et moyens de production dans les mesures visant les importations et ayant un but environnemental. Il a considéré que les techniques et méthodes utilisées dans la pêche des crevettes étaient préjudiciables aux tortues marines et de ce fait habilitait les Etats-Unis à prendre des mesures de sauvegarde au titre de l'article XX (g) du GATT. Les procédés et moyens de production concernés étaient « non incorporés » puisqu'il s'agissait de la méthode de pêche utilisée par les Etats. **Des mesures basées sur les procédés et moyens de production pourraient dès lors être permises à condition qu'elles remplissent les conditions de l'article XX**. L'organe de règlement des différends pourrait ainsi considérer la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> comme une « *ressource naturelle épuisable* ».

Il n'est cependant pas exclu que l'organe de règlement des différends considère qu'une taxe à la frontière n'est pas « *nécessaire* » ou ne « *se rapporte pas à* » la préservation de cette concentration mais plutôt à la protection de la production nationale. En particulier, la détaxation des exportations serait particulièrement difficile à justifier dans la mesure où elle sert véritablement à contrer les distorsions de concurrence. L'organe de règlement des différends pourrait décider que cette mesure est nécessaire à la protection de la production nationale mais pas à la préservation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>. Cependant, la qualification pourrait être retenue s'il acceptait que la mesure est nécessaire pour inciter les autres pays à lutter contre les émissions de CO<sub>2</sub>, objectif aujourd'hui largement reconnu. L'ORD serait plus susceptible de considérer la mesure comme se rapportant à la conservation des ressources naturelles épuisables si la taxe était calculée **sur la base des émissions réelles** émises par opérateur, car la relation serait plus « *étroite et réelle* » entre l'ajustement et son objectif.

Dans l'hypothèse où il déciderait qu'une taxe à la frontière poursuit bien l'objectif de la protection du climat et relève bien du paragraphe g, celle-ci ne pourrait néanmoins être adoptée qu'après avoir mené **des négociations sérieuses** avec les Etats concernés. Cette condition semble difficile à satisfaire. Les Etats refusant de ratifier le protocole de Kyoto (Etats-Unis et Australie) seraient sûrement hostiles à l'imposition d'une taxe sur leurs importations en vue de lutter contre l'effet de serre.

La taxe pose un autre problème : elle ne permet pas de prendre en compte des mesures déjà appliquées par les autres Etats qui ont un degré d'efficacité équivalent en

termes de réduction de gaz à effet de serre mais qui ne passent pas par une taxe. Ainsi, elle serait appliquée aux produits qui ont été soumis à une contrainte de réduction via un marché de permis ou à des réglementations. Cela risque de soulever l'opposition de nos partenaires japonais ou canadiens.

Les principes du traitement national et de la clause de la nation la plus favorisée impliquent **que le montant de la taxe devrait être le même pour tous les opérateurs**. Cela pourrait poser un problème politique vis-à-vis des parties au protocole de Kyoto n'ayant pas souscrit d'engagements quantitatifs, c'est à dire les pays en développement. En effet, la taxation des produits des pays en développement en fonction de la quantité d'émissions de gaz à effet de serre incorporée est une remise en question unilatérale de l'équilibre politique de l'accord obtenu à Kyoto. La reconnaissance par le protocole de Kyoto d'un traitement spécial et différencié des besoins des PED pourrait être justifiée à l'OMC par la phrase « entre les pays où les mêmes conditions existent » du chapeau de l'article XX. Les conditions (de développement, financières, de connaissances techniques et économiques) ne sont pas les mêmes dans les pays de l'annexe I que dans les PED. Ainsi, une discrimination serait peut-être possible et ne serait pas considérée comme « arbitraire » ou « injustifiable ». **Néanmoins, un traitement différencié pour les pays en développement remet en cause l'intérêt du dispositif car les craintes de distorsions de concurrence sont aujourd'hui particulièrement exacerbées vis à vis des économies asiatiques.**

#### **Les difficultés techniques :**

Par ailleurs, quand bien même il serait acceptable juridiquement, l'ajustement fiscal à la frontière pose un certain nombre de difficultés techniques. En particulier, est-il réellement possible de baser la taxe sur le **contenu en gaz à effet de serre des matériaux** ? Cette solution est la meilleure car l'organe de règlement des différends serait plus susceptible de considérer la mesure comme se rapportant à la conservation des ressources naturelles épuisables si la relation est « étroite et réelle » entre l'ajustement et son objectif : la réduction des émissions de GES. Il faudrait cependant que les pays soient capables **d'identifier et de surveiller les procédés utilisés pour fabriquer les produits importés**. Le plus souvent, cette identification ne peut être réalisée que par une **inspection sur le site**, un suivi et une homologation du procédé de production dans le pays exportateur. Cela nécessiterait un accord entre pays concernés sur une certification, à l'instar des systèmes de vérification et de certification mis en place pour les procédés et méthodes de fabrication en matières sanitaire et phytosanitaire. Une autre solution serait d'exiger des industriels **la communication d'informations sur leurs émissions** et procédés et moyens de production permettant de calculer la taxe de manière individuelle. Cela présenterait des difficultés importantes et susciterait sûrement l'hostilité des industriels qui refuseraient de communiquer des renseignements confidentiels relevant du **secret des affaires à la concurrence**. En outre, cela occasionnerait un surcoût. Cela paraît donc très difficile à réaliser voir impossible.

L'autre option serait de calculer la taxe sur la base de **la meilleure technologie disponible** tout en permettant aux Etats exportateurs de démontrer qu'ils émettent moins d'émissions qu'avec cette technologie. Néanmoins, **l'intérêt environnemental de la mesure pourrait alors être questionné**. Cette proposition soulève aussi des difficultés car ce document de travail fait justement ressortir qu'il existe de nombreuses technologies dans un même secteur. Pour démontrer qu'ils émettent moins de gaz à effet de serre qu'avec la meilleure technologie disponible, les industriels seraient également obligés de fournir des informations confidentielles sur leurs méthodes de production. Enfin, comme les technologies évoluent dans le temps, l'ajustement fiscal à la frontière devrait s'adapter au fur et à mesure de cette évolution, ce qui serait relativement compliqué.

## **Annexe 2 : Le problème du double compte**

### ***Double compte direct***

On peut illustrer le problème du double compte direct avec un exemple simple. Supposons qu'un industriel français décide de faire un projet MDP en Chine dans le secteur de la production d'électricité et que ce secteur est déjà couvert par un objectif sectoriel absolu. L'industriel français installe chez l'industriel chinois un nouvel équipement qui diminue les émissions de 10 tonnes de CO<sub>2</sub>. 10 CER sont reconnus par l'Etat chinois et transférés à l'industriel français. Néanmoins comme les émissions chinoises dans le secteur de la production d'électricité ont diminué de 10 tonnes de CO<sub>2</sub>, l'Etat chinois bénéficie de ces 10 tonnes au titre de l'accord sectoriel. Les réductions d'émissions sont comptées deux fois : il y a un double compte. La seule solution pour l'empêcher est d'interdire les projets MDP dans les secteurs couverts par un accord sectoriel.

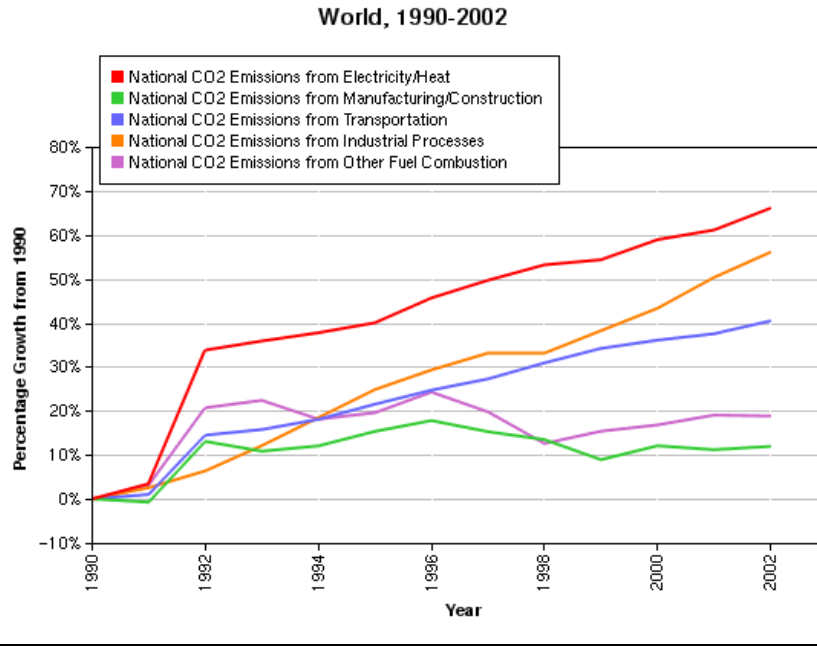
### ***Double compte indirect***

Prenons encore un exemple pour illustrer le problème du double compte indirect. Supposons que le secteur de la production d'électricité chinoise soit couvert par un objectif sectoriel absolu. On suppose que les émissions liées à la production d'électricité sont de 1300 MteCO<sub>2</sub> et que l'objectif fixé au gouvernement chinois dans le cadre de la convention climat est de les stabiliser à ce niveau.

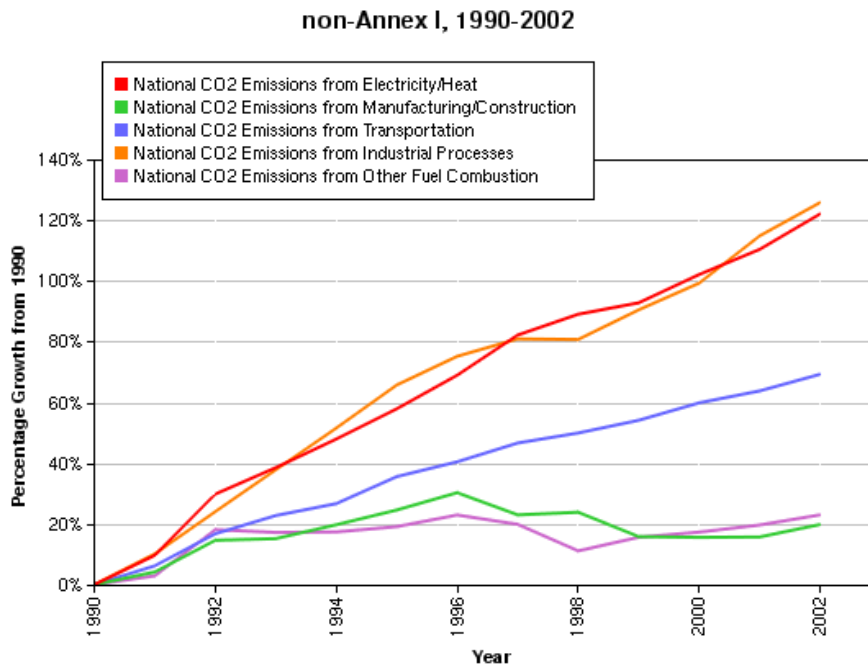
On suppose par ailleurs que les porteurs de projets développent des projets MDP de type efficacité énergétique ou sur les énergies renouvelables en Chine pour un montant de 50 MtCO<sub>2</sub>. Ils bénéficient donc de 50 millions de CER au titre du MDP.

Ces projets MDP ont entraîné une diminution de la production d'électricité en Chine : les émissions globales du secteur de la production d'électricité ont diminué de 50 MteCO<sub>2</sub> et passent de 1300 à 1250 MteCO<sub>2</sub>. Le gouvernement chinois bénéficie de 50 millions de crédits au titre de l'accord sectoriel. Là encore, il y a un double compte des réductions d'émissions. Pour l'éviter, la seule solution est d'interdire les projets MDP qui réduisent indirectement les émissions dans les secteurs couverts par un accord sectoriel.

### Annexe 3 : Tendence des émissions mondiales par secteur



**Figure 33 : Tendence des émissions mondiales par secteur sur la période 1990-2002 (source : WRI)**



**Figure 34 : Tendence des émissions par secteur dans les pays non annexe 1 sur la période 1990-2002 (source : WRI)**