

Note d'étude n°10, janvier 2007

Anaïs Delbosc

01 58 50 99 28

anaïs.delbosc-e@caissedesdepots.fr

Jan Horst Keppler

01 44 05 44 85

jan.keppler@dauphine.fr

Alexia Leseur

01 58 50 41 30

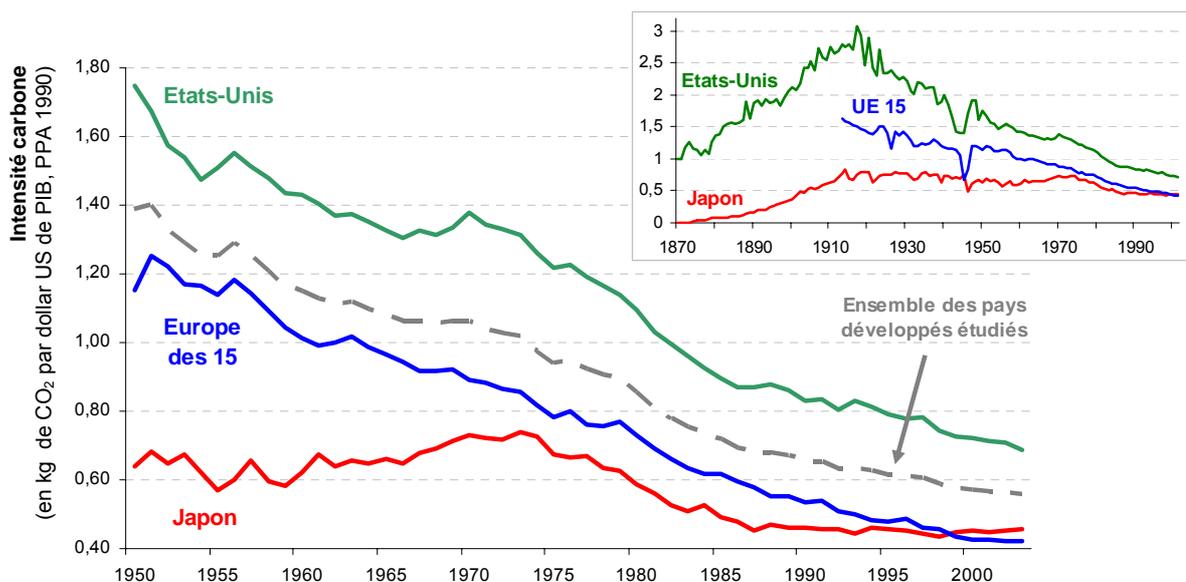
alexia.leseur@caissedesdepots.fr

Croître sans réchauffer ?

L'intensité carbone des économies développées

A long terme, la trajectoire des émissions de gaz à effet de serre d'une économie est le produit de trois facteurs : la croissance de la population ; la variation de la production par habitant ; l'évolution du contenu de cette production en émissions, habituellement dénommée intensité carbone. Dans les pays développés, cette intensité carbone a été très significativement réduite depuis un demi-siècle. Ces gains se sont accélérés à la suite des deux premiers chocs pétroliers ce qui traduit l'impact des contextes énergétiques sur l'efficacité carbone des économies. Depuis 1990, ces gains se sont ralentis. La dispersion des intensités carbonées des grandes économies restait à peu près aussi élevée en 2003 qu'en 1990. En revanche, au sein de l'Union européenne à 15, une remarquable convergence des intensités carbonées des économies a été observée avant même que ne soient mis en place les outils communs d'action dans le cadre du protocole de Kyoto et du système d'échange de quotas de CO₂. Dans le futur, une inflexion massive de la trajectoire des émissions exigera des modifications bien plus fortes de l'intensité carbone des économies si on veut continuer à croître mais cesser de réchauffer l'atmosphère.

Figure 1 – Intensités en CO₂ de quelques pays développés entre 1950 et 2003.



Source : CDIAC, Groningen Growth and Development Centre and the Conference Board, Maddison.

*J.H. Keppler est professeur à l'Université Paris-Dauphine et conseiller de la Mission Climat.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des personnes rencontrées dans le cadre de la préparation de cette note, et plus particulièrement Richard Baron (AIE), Jean-Yves Caneill (EDF) et Frank Convery (UCD), pour leur relecture attentive et leurs critiques constructives. Les auteurs restent seuls responsables des éventuelles erreurs et omissions.

Introduction	3
I. Evolutions des intensités en gaz à effet de serre des pays développés	4
<i>A. Activité économique, niveau de développement et émissions de gaz à effet de serre</i>	4
<i>B. Dispersion des intensités en gaz à effet de serre au sein des économies industrialisées</i>	6
<i>C. Convergence des intensités en gaz à effet de serre au sein de l'Europe des 15</i>	7
II. Intensité carbone des économies développées et choix énergétiques.....	10
<i>A. L'énergie, principal émetteur du CO₂</i>	10
<i>B. Intensités CO₂ des économies et production électrique</i>	11
<i>C. Baisse des intensités en CO₂ depuis 1950 : le coup de fouet des chocs pétroliers</i>	12
<i>D. Estimation économétrique de l'intensité en CO₂ : l'impact du PIB et de la part de la production électrique d'origine thermique</i>	12
III. L'Europe des 15 mise en perspective	14
<i>A. De « vieux » pays industriels bien engagés dans la décarbonation de leurs économies</i>	14
<i>B. Les pays scandinaves : virage énergétique suite aux chocs pétroliers</i>	16
<i>C. Zoom sur les « dragons » européens : l'Espagne et l'Irlande</i>	16
Conclusion	20
Annexe I – Données utilisées et méthodologie	21
Annexe II – Mix énergétique des pays développés en 1980, 1990 et 2003.....	23
Annexe III – Synthèse des estimations économétriques (1950 – 2003).....	24
Lexique	25
Références	26

Introduction

Le volume des émissions gaz à effet de serre (GES) d'un pays est le produit de trois facteurs : la taille de sa population ; le montant de sa production par habitant ; le niveau unitaire de cette production en émission de gaz à effet de serre, encore appelé intensité en gaz à effet de serre ou intensité carbone de l'économie. Cette relation peut s'écrire :

$$GES = Pop \times \frac{PIB}{Pop} \times \frac{GES}{PIB}$$

Cette décomposition est intéressante car elle permet de dissocier, dans l'évolution des émissions de gaz à effet de serre d'une économie, ce qui résulte de la croissance (démographique et économique), de ce qui résulte de l'efficacité écologique des moyens de production mis en œuvre sous l'angle des émissions. Ainsi, le tableau 1 montre que l'évolution observée des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2003 des grandes économies industrialisées répond à des déterminants différents. Dans tous les cas, l'intensité carbone des économies a diminué, ce qui veut dire que l'ensemble des économies sont devenues moins émettrices par unité de production entre les deux années. En revanche, ce gain relatif n'a permis de stabiliser le volume global des émissions que dans le cas de l'Union européenne à 15. Dans les autres économies développées, ce gain relatif a été plus que compensé par la croissance économique et démographique, d'où une augmentation du volume global des émissions sur la période.

Tableau 1 – Décomposition de la croissance des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2003.

		Australie	Canada	Etats-Unis	Japon	UE 15
Moyennes 1990-2003 (%)	GES / PIB	- 0,26	- 0,14	- 0,21	- 0,07	- 0,27
	PIB / population	0,33	0,24	0,19	0,17	0,18
	Population	0,19	0,16	0,13	0,04	0,09
	GES (somme des effets des trois variables explicatives)	0,26	0,26	0,11	0,13	- 0,01

Données : OCDE, CCNUCC, INED.

Les données représentent pour chaque pays la contribution des différents facteurs à la variation des gaz à effet de serre (GES). Par exemple en Europe des 15, la très faible baisse observée des émissions provient du fait que les augmentations du revenu par habitant et de la population ont été compensées par une forte baisse des émissions par unité de PIB.

Cette note cherche à éclairer l'évolution passée de l'intensité des économies développées en émission de gaz à effet de serre. Pour des raisons d'homogénéité et de comparabilité des données, l'étude ne porte que sur les pays anciennement dits « industrialisés », laissant hors du champ de l'étude les pays émergents et les pays de l'ancien bloc soviétique, même quand ceux-ci ont rejoint l'Union Européenne. Dans la première partie, on cherche à voir si l'évolution de l'intensité carbone des économies s'est accompagnée de phénomènes de convergence ou de divergence au sein des économies développées. La seconde partie s'intéresse plus spécifiquement au poids des choix énergétiques sur les trajectoires adoptées par les pays développés. Enfin une attention particulière est portée dans la troisième partie aux caractéristiques des pays de l'Union Européenne qui présente une trajectoire unique parmi les pays développés.

I. Evolutions des intensités en gaz à effet de serre des pays développés

A. Activité économique, niveau de développement et émissions de gaz à effet de serre

La figure 2 rappelle les grands ordres de grandeur concernant la taille des économies d'une part et leur contribution aux émissions mondiales de gaz à effet de serre de l'autre (soit les 6 gaz couverts par le protocole de Kyoto, sans prendre en compte les estimations de stockage-déstockage de carbone résultant de la forêt et des sols). Les Etats-Unis, l'Union européenne et le Japon ont été à l'origine de la moitié de la création de richesse mondiale mesurée par les PIB en parités de pouvoir d'achat en 2000. Si on ajoute, le Canada, l'Australie, la Nouvelle Zélande et les pays européens non membre de l'UE, on voit que les pays développés étudiés ont été à l'origine de 55 % de la création de richesse mondiale en 2000. Si on utilisait pour faire cette mesure les taux de change courant et non les taux de parité de pouvoirs d'achat, cette proportion avoisinerait les 2/3 du PIB mondial.

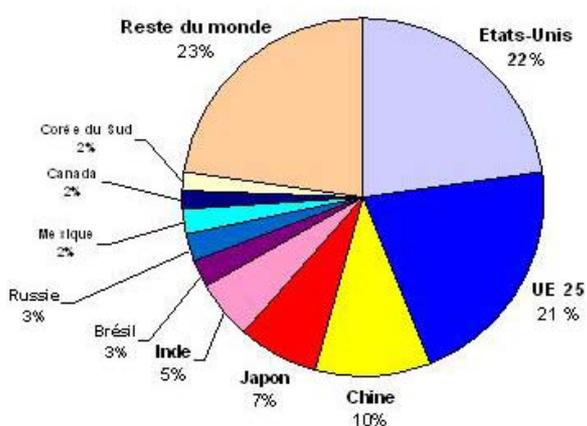
La part de ces pays dans les émissions mondiales de gaz à effet de serre est inférieure à leur part dans le PIB mondial. Les Etats-Unis, l'Union européenne et le Japon ont émis, toujours en l'an 2000, 38 % des gaz à effet de serre mondiaux. En ajoutant les autres pays développés on estime cette proportion à 42 %. Il faut cependant rappeler que la mesure des émissions, notamment d'origine agricole et forestière, est entachée d'incertitudes.

Il convient enfin de souligner que les échanges extérieurs peuvent fausser les comparaisons entre pays. Certains pays peuvent importer des biens ou services à fort contenu en carbone et d'autre exporter des biens et services à faible contenu en carbone. L'intensité en carbone d'une économie mesurée comme le rapport entre ses émissions et son PIB peut donc s'éloigner de la contribution des modes de vie de ses habitants à l'effet de serre. Ce biais a toutes les chances d'être plus important pour les petits pays plus ouverts, en proportion, au commerce international.

Figure 2. PIB et émissions de gaz à effet de serre dans le monde.

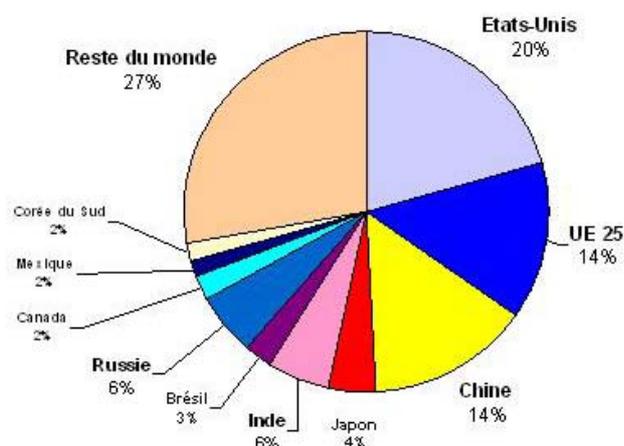
a. PIB, milliards de dollars US (PPA¹ 2000), 2000.

Total : 43 600 milliards de dollars



b. Emissions de gaz à effet de serre, 2000.

Total : 33,6 milliards de teCO₂



Les trois principales économies, à savoir les Etats-Unis, l'Union européenne et le Japon produisent la moitié du PIB mondial et près de 40 % des émissions de gaz à effet de serre. Leur niveau technologique élevé explique que leur intensité en gaz à effet de serre, c'est-à-dire le rapport des émissions de gaz à effet de serre sur la production de richesse, soit inférieure à celle du reste du monde.

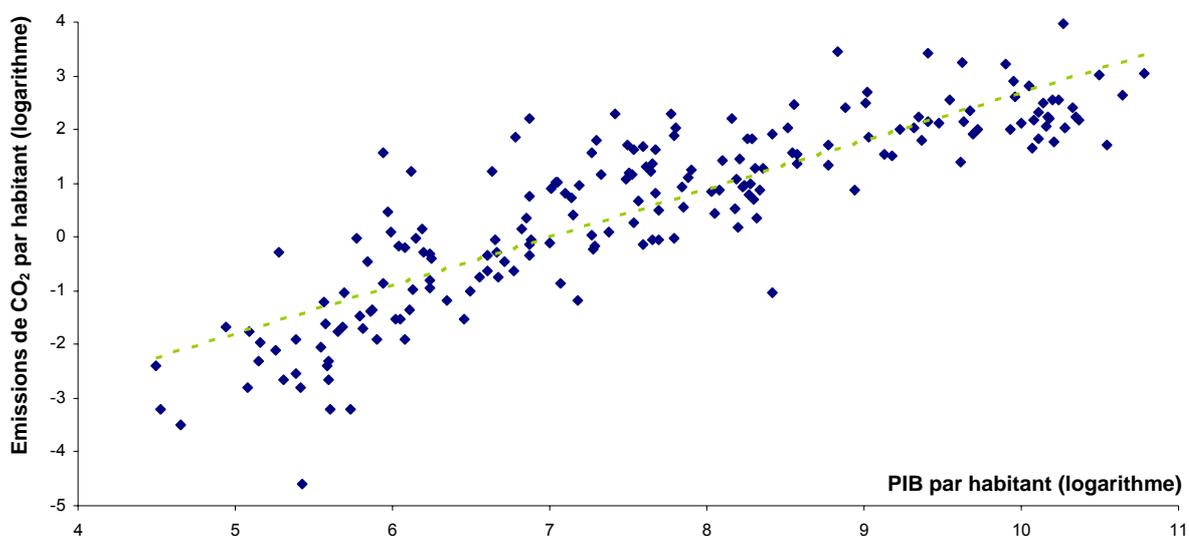
Source : World Factbook 2001, WRI.

¹ Voir lexique p.25.

Les informations fournies par la figure 3 complètent la vision précédente. Elles suggèrent l'existence d'une relation positive entre le PIB par habitant d'un pays et son niveau d'émission par habitant. Mais deux observations doivent être faites :

- d'une part, la dispersion du nuage de points révèle que pour un niveau identique de PIB par habitant, des pays peuvent avoir des niveaux d'émissions très différents ce qui ne peut s'expliquer arithmétiquement que par des différences significatives d'intensité carbone des économies ;
- d'autre part, la pente de la droite d'ajustement révèle une élasticité² inférieure à 1 (de l'ordre de 0,9) ce qui suggère que le montant des émissions par habitant a tendance à s'accroître, en moyenne, un peu moins rapidement que le niveau de PIB par habitant. Autrement dit, le graphique suggère que l'intensité carbone des économies diminue légèrement avec la hausse du niveau de vie.

Figure 3 – Emissions de CO₂ par habitant en fonction du PIB par habitant, dans le monde en 2002.



L'accroissement de 1 % du PIB par habitant entraîne un accroissement estimé d'environ 0,9 % des émissions par habitant. Le fait qu'il soit inférieur à 1 indique que les émissions augmentent à un rythme inférieur à la croissance économique.

Source : Banque Mondiale.

La baisse générale des intensités en gaz à effet de serre avec l'augmentation du PIB par habitant répond à une certaine logique. Lorsque ce niveau de vie augmente, on observe que certaines consommations, notamment celles de première nécessité augmentent à un rythme inférieur à celui du revenu (loi dite de « Engel »). La consommation énergétique, à l'origine d'une grande partie des émissions de CO₂, appartient à cette catégorie de biens qui ont une élasticité vis-à-vis du revenu inférieure à l'unité. Cependant cette évolution est loin d'être linéaire et doit être interprétée avec prudence :

- une baisse de production dans un secteur émetteur ne s'accompagne pas nécessairement d'une moindre consommation des biens qu'il produit mais peut résulter de délocalisations : cette « fuite » du carbone, difficilement mesurable, joue sur la baisse des intensités en CO₂ des économies développées qui importent une fraction croissante de leurs produits manufacturés des pays émergents ;
- d'autre part le développement de la tertiarisation des économies n'implique pas nécessairement une baisse d'intensité en CO₂. Certains secteurs de services, comme le transport ou le tourisme sont à l'origine d'importantes émissions de carbone.

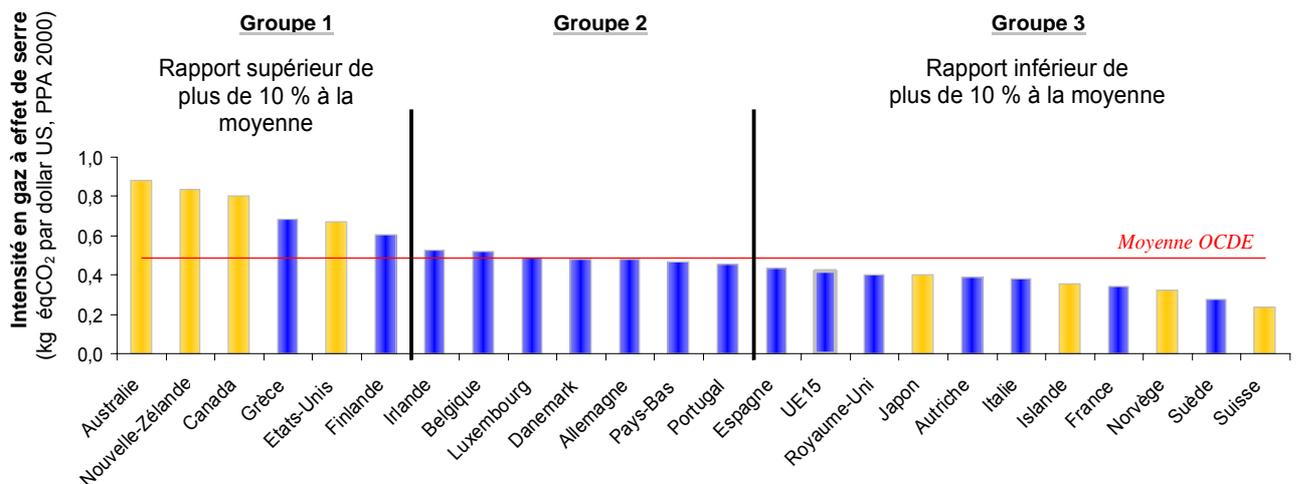
² Voir lexique p.25.

B. Dispersion des intensités en gaz à effet de serre au sein des économies industrialisées

Des intensités en gaz à effet de serre dispersées

Les économies des pays développés affichent des intensités de gaz à effet de serre très diverses. En 2003, l'intensité moyenne a été de 0,5 kg éqCO₂ / USD. La création d'un dollar de valeur ajoutée s'est donc accompagnée en moyenne d'une émission de 0,5 kg équivalent CO₂³. La dispersion de cette valeur autour de la moyenne a cependant été considérable puisqu'elle variait d'un peu plus de 0,2 kg éqCO₂ pour la Suisse à plus de 0,8 kg éqCO₂ pour l'Australie. Le coefficient de variation⁴ de 35 % témoigne de cette forte dispersion.

Figure 4 – Intensités en gaz à effet de serre des économies en 2003. En bleu les pays de l'Europe des 15.



En supposant des niveaux technologiques comparables dans les pays industrialisés, il faut donc recourir aux explications géographiques (pays à haute densité démographique vs pays à basse intensité démographique), culturelles, ainsi qu'aux choix en matière de production électrique⁵.

Source : OCDE, CCNUCC.

La même classification des pays selon leur intensité en gaz à effet de serre pour l'année 1990 montre une dispersion légèrement plus grande autour de la moyenne, avec un coefficient de variation de 38 %, et des intensités plus élevées : la moyenne atteignait ainsi 0,64 kg éqCO₂ / USD. La baisse de l'intensité moyenne en gaz à effet de serre a donc atteint – 22 % entre 1990 et 2003, sans que la dispersion autour de cette moyenne n'ait significativement été réduite.

La baisse générale des intensités en gaz à effet de serre des économies

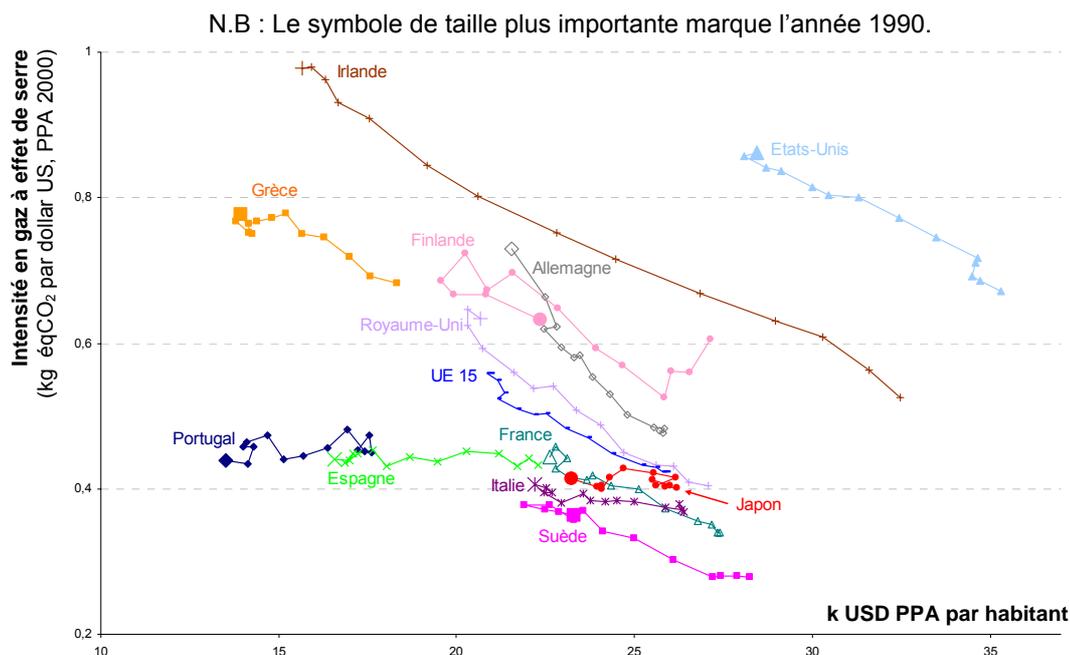
La figure 5 rattache l'évolution de l'intensité carbone des économies développées à leur niveau de PIB par habitant. Elle permet de constater que le niveau de richesse d'un pays n'explique pas seul le niveau d'intensité en gaz à effet de serre. Par exemple, pour un même niveau de développement de 25 000 dollars par habitant, l'intensité en gaz à effet de serre de l'économie irlandaise, d'environ 0,7 kg éqCO₂ / USD, était deux fois plus importante que celle de la Suède. Dans cet exemple, les années correspondantes sont différentes : le niveau technologique, l'environnement politique et institutionnel (ex. : démarrage récent du protocole de Kyoto) ont changé. Ces conditions politiques et institutionnelles jouent un rôle non négligeable dans l'évolution de l'intensité en gaz à effet de serre des pays.

³ Voir lexique p.25.

⁴ Rapport de l'écart-type sur la moyenne. Plus il est grand et plus la dispersion des données est forte. Voir lexique p.25.

⁵ Les divergences climatiques ne peuvent pas vraiment expliquer la grande dispersion observée, la Norvège, la Suisse ou la Suède ne disposant pas d'un climat plus clément que celui du Canada ou des Etats-Unis par exemple.

Figure 5 – Intensités de gaz à effet de serre et PIB par habitant, 1990 – 2003.



Source : OCDE, CCNUCC.

On peut également noter certaines trajectoires intéressantes pays par pays :

(1) En Irlande par exemple, la forte baisse de l'intensité a été associée à un développement important avec le doublement du PIB par habitant. A l'opposé, le Portugal ou l'Espagne affichent – à des taux de croissance comparables – des courbes quasiment horizontales, soulignant de faibles progrès en matière d'intensité en gaz à effet de serre, ainsi qu'une trajectoire relativement courte, indiquant un développement moindre du niveau de vie.

(2) L'Allemagne a vu son intensité carbone diminuer fortement suite à la réunification. Les Etats-Unis eux aussi ont vécu une forte décarbonation de leur économie, qui s'est accélérée de manière significative pendant les années de la bulle Internet.

(3) A noter également, les Etats-Unis et l'Europe des 15 ont une trajectoire globalement parallèle ; malgré des niveaux initiaux très différents à la fois pour l'intensité en gaz à effet de serre de leurs économies et pour leurs niveaux de vie, ces deux économies font des progrès en termes d'intensité en gaz à effet de serre sans toutefois converger vers un même niveau.

C. Convergence des intensités en gaz à effet de serre au sein de l'Europe des 15

Parmi les pays non européens d'abord, deux groupes de pays se distinguent (voir figure 4). Le premier possède de fortes intensités en gaz à effet de serre (supérieures à 0,8 kg éqCO₂ / USD en 1990) : si l'Australie et les Etats-Unis y enregistrent de fortes baisses d'intensités entre 1990 et 2003, le Canada et la Nouvelle-Zélande sont en deçà de la tendance générale.

Le deuxième groupe de pays non européens a enregistré les baisses d'intensités les plus fortes, malgré des niveaux initiaux plus bas, notamment en Islande et en Norvège. La Suisse, déjà faiblement intensive, a réduit son intensité de 11 %. Le Japon est le seul pays à voir son intensité en gaz à effet de serre quasi-constante.

Tableau 2 – Intensités en gaz à effet de serre des économies des pays non membres de l'UE-15

Pays	Rapport Emissions / PIB (en kg éqCO ₂ / USD)		
	1990	2003	Evolution 1990-2003
Islande	0,54	0,35	- 34 %
Norvège	0,44	0,32	- 28 %
UE15	0,56	0,42	- 24 %
Australie	1,13	0,88	- 22 %
Etats-Unis	0,86	0,67	- 22 %
Nouvelle-Zélande	1,01	0,84	- 17 %
Canada	0,92	0,80	- 13 %
Suisse	0,27	0,24	- 11 %
Japon	0,41	0,40	- 3 %

Source : OCDE, CCNUCC.

Cette diversité d'évolution des intensités en gaz à effet de serre se retrouve également parmi les pays européens. Les réductions d'intensité en gaz à effet de serre y ont été particulièrement importantes : l'indice européen passe en effet de 0,56 à 0,42 kg éqCO₂ / USD entre 1990 et 2003, soit une baisse de 24 %. Cette baisse est supérieure à celle observée pour l'ensemble des pays non européens (- 19 %). Seule exception, le Portugal a vu l'intensité en gaz à effet de serre de son économie s'accroître de 3 %.

Tableau 3 – Intensités en gaz à effet de serre des économies de l'Europe des 15

Pays	Rapport Emissions / PIB (en kg éqCO ₂ / USD)		
	1990	2003	Evolution 1990-2003
Luxembourg	1,07	0,49	- 54 % ⁽⁶⁾
Irlande	0,98	0,52	- 46 %
RU	0,63	0,40	- 36 %
Allemagne	0,73	0,48	- 34 %
Pays-Bas	0,62	0,47	- 25 %
France	0,44	0,34	- 24 %
Suède	0,36	0,28	- 23 %
Belgique	0,66	0,52	- 21 %
Danemark	0,59	0,48	- 19 %
Autriche	0,44	0,39	- 12 %
Grèce	0,78	0,68	- 12 %
Italie	0,41	0,38	- 7 %
Finlande	0,63	0,61	- 4 %
Espagne	0,44	0,43	- 2 %
Portugal	0,44	0,45	3 %

Source : OCDE, CCNUCC.

Parmi les pays aux intensités en gaz à effet de serre relativement faibles, certains comme la Suède ont connu des baisses importantes (- 23 %) alors que d'autres, à l'image de l'Espagne ou de l'Italie n'ont connu que des baisses limitées (respectivement - 1,8 % et - 6,8 %) entre 1990 et 2003.

Cette tendance à la baisse a produit une certaine convergence des intensités en gaz à effet de serre des pays développés au cours des années 1990, qui s'avère être largement due à la convergence intra-européenne. En effet le coefficient de variation des intensités en gaz à effet de serre des pays européens baisse de près de 40 % entre 1990 et 2003. Sur la même période, les autres pays développés

⁶ Le Luxembourg doit être analysé prudemment du fait de sa petite surface, de sa structure industrielle et de son économie tournée vers les activités financières. Les émissions de gaz à effet de serre dépendent fortement du secteur métallurgique : sa restructuration au cours des années 1990 a causé de fortes réductions d'émissions.

montrent l'absence de convergence de leurs intensités en gaz à effet de serre avec la stagnation du coefficient de variation de leurs intensités (0 %).

Tableau 4 – Coefficient de variation de l'intensité en gaz à effet de serre des économies, 1990 – 2003.

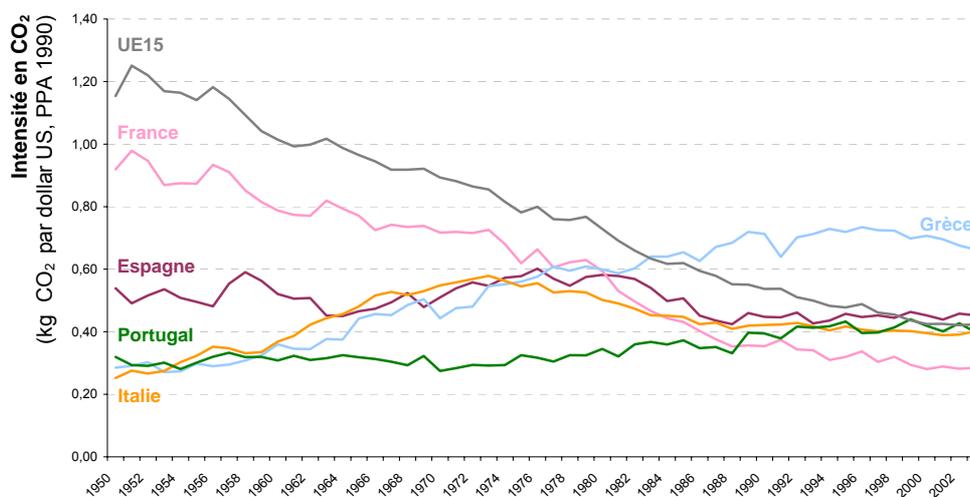
	1990	2003	Evolution relative
Ensemble des pays développés	0,39	0,35	- 9 %
15 pays de l'UE 15	0,34	0,22	- 37 %
Pays développés non européens + UE 15	0,45	0,46	+ 2 %
Pays développés non européens	0,46	0,46	0 %

L'évolution du coefficient de variation (voir lexique) des intensités en gaz à effet de serre entre 1990 et 2003 permet d'observer les rapprochements entre pays et de les quantifier : une baisse indique une convergence au sein du groupe du pays alors qu'une hausse relève une divergence.

Source : Mission Climat.

Cependant cette convergence des intensités en gaz à effet de serre n'a pas été homogène au sein des pays européens. A titre d'exemple, la figure 6 montre une très forte convergence des intensités en CO₂ des pays méditerranéens vers le niveau moyen européen. Deux pays se distinguent néanmoins fortement : la Grèce qui connaissait l'une des intensités carbone les plus faibles en début de période a rejoint la moyenne européenne au-début des années quatre-vingt pour s'en détacher nettement par la suite. La France qui avait la plus forte intensité carbone des pays méditerranéens en début de période a au contraire continué de réduire ses émissions par unité de PIB pour se situer nettement en dessous de cette moyenne en fin de période.

Figure 6 – Exemple de l'évolution des intensités en CO₂ des pays méditerranéens.



Source : CDIAC, Groningen Growth and Development Centre and the Conference Board.

La forte convergence des intensités en gaz à effet de serre des seuls pays européens reste donc encore à expliquer. La mise en place de politiques européennes a probablement favorisé l'harmonisation des contraintes sur les différents secteurs économiques. Cependant cet effet ne peut être qu'indirect, les réglementations européennes harmonisant l'action communautaire contre les émissions de gaz à effet de serre n'ayant été mises en place que très récemment.

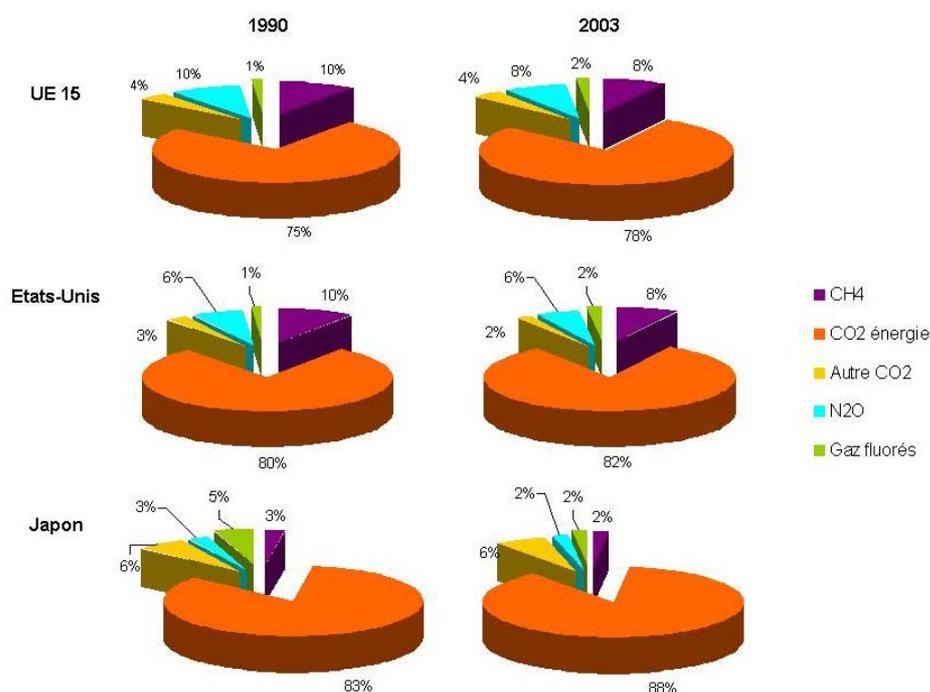
II. Intensité carbone des économies développées et choix énergétiques

Les choix concernant les sources de production d'énergie ont, comme l'accroissement de la population ou le niveau de développement, un effet majeur sur les émissions de CO₂, qui représente plus de 80 % des émissions de gaz à effet de serre des pays développés. Par exemple, la sortie du nucléaire, annoncée ou déjà mise en place dans plusieurs pays européens comme l'Allemagne, le Royaume-Uni ou l'Espagne, pose la question des types d'énergie destinés à le remplacer.

A. L'énergie, principal émetteur du CO₂

Le CO₂ d'origine énergétique, incluant les émissions liées à la production d'énergie et aux transports, forme la majorité des émissions de gaz à effet de serre. Sa part a même augmenté entre 1990 et 2003 pour les trois plus grandes régions développées (voir figure 7), en partie du fait du développement des transports. Cette hausse de l'importance relative du CO₂ d'origine énergétique dans l'ensemble des gaz à effet de serre montre l'enjeu de nouvelles contraintes sur les émissions de CO₂. Tous les secteurs économiques sont concernés : l'énergie fossile est utilisée pour la production d'électricité et de chaleur, pour les transports, dans les installations de combustion industrielles...

Figure 7 – Emissions de gaz à effet de serre en Europe des 15, aux Etats-Unis et au Japon.



Source : CCNUCC.

Ces émissions de CO₂ d'origine énergétique proviennent de la combustion de matériaux carbonés, qu'ils soient liquides (pétrole), gazeux (gaz naturel) ou solides (charbon). Selon le combustible, les émissions sont plus ou moins importantes à quantité d'énergie libérée égale. Par exemple la substitution du charbon par du gaz naturel permet de réduire les émissions de CO₂ de moitié, mais contribue toujours aux émissions totales.

Tableau 5 – Quantités indicatives de CO₂ émis pour la production d'un MWh.

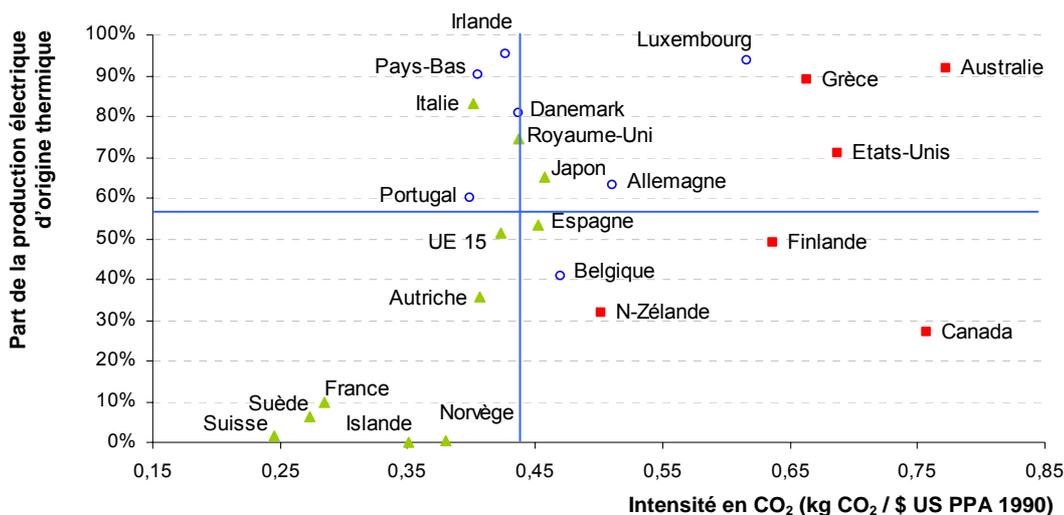
	En kilogrammes de CO ₂
Gaz naturel	198
Fioul	270
Charbon	342

Source : MIES.

B. Intensités CO₂ des économies et production électrique

Si le niveau de développement des pays ne détermine pas à lui seul l'intensité en CO₂, la structure de leur approvisionnement énergétique, disponible en Annexe II, est un facteur important. Les pays ont été marqués selon leur intensité en gaz à effet de serre en 2003 (voir figure 5) : les pays intensifs (■), moyennement intensifs (○), et peu intensifs (▲). Ils ont ensuite été placés sur la figure 9 en fonction de leur intensité en CO₂ et de la part de la production électrique d'origine thermique (utilisation de charbon, de gaz naturel ou de pétrole).

Figure 8 – Part de la production électrique d'origine thermique en fonction de l'intensité en CO₂ des économies en 2003.



Source : Energy Information Administration, CDIAC, OCDE

Les deux droites bleues sont des médianes, chacune partage l'échantillon en deux groupes de pays de taille égale. La plupart des pays très intensifs en CO₂ sont aussi très intensifs en gaz à effet de serre et ont une production électrique d'origine thermique élevée (cadran supérieur droit). La majorité des pays faiblement intensifs en gaz à effet de serre correspondent à des pays de faible intensité en CO₂ et ont une production énergétique d'origine thermique plutôt faible (cadran inférieur gauche).

Quelques pays ne suivent pas cette disposition. Les pays du cadran supérieur gauche utilisent beaucoup de combustibles fossiles pour leur production électrique mais ont une faible intensité en CO₂. Ces pays ont réussi à augmenter leur efficacité énergétique et se sont orientés vers des activités moins émettrices en CO₂ comme pour l'Irlande.

Les pays du cadran inférieur droit présentent au contraire des intensités élevées en CO₂ alors même que l'utilisation de combustibles fossiles n'est pas très développée pour la production d'électricité. D'autres secteurs doivent donc intervenir pour expliquer ce paradoxe. Il est probable d'une part que les industries nationales n'aient pas connu des gains d'efficacité énergétique aussi importants que dans d'autres pays. D'autre part le secteur des transports joue certainement un rôle très important : la grande taille des pays et/ou des politiques de faible taxation sur l'énergie ont favorisé le développement de ce secteur très émetteur en CO₂. Pour le Canada en particulier s'ajoutent les émissions liées au chauffage à partir de combustibles fossiles (charbon ou fioul), relativement importantes du fait du climat froid.

Enfin certains pays moyennement intensifs en gaz à effet de serre se trouvent dans des intensités en CO₂ relativement importantes, soulignant que le poids des autres gaz à effet de serre est inférieur à celui d'autres pays.

C. Baisse des intensités en CO₂ depuis 1950 : le coup de fouet des chocs pétroliers

L'influence de la production énergétique sur l'intensité carbone des économies apparaît également lors de tensions prolongées sur les marchés de l'énergie. Ainsi les chocs pétroliers des années 1970 ont induit des changements structurels de production et/ou des modifications plus ou moins prolongées des niveaux de consommation énergétique. Ces chocs ont eu un effet visible sur l'évolution de long terme de l'intensité en CO₂ des économies. Pour les Etats-Unis, le Japon et l'Europe des 15, cette évolution a été quantifiée et décomposée sur trois périodes.

Tableau 6 – Evolution de l'intensité en CO₂ d'origine énergétique.

CO ₂ /PIB	1950 - 1971	1971 - 1986	1986 - 2003	Ensemble de la période
Etats-Unis	- 23 %	- 35 %	- 21 %	- 61 %
Japon	13 %	- 34 %	- 4 %	- 28 %
UE 15	- 24 %	- 33 %	- 29 %	- 63 %

Source : Groningen Growth and Development Centre and the Conference Board.

Les baisses d'émissions de CO₂ par rapport à la richesse créée se sont accélérées après les crises pétrolières. A partir du milieu des années 1980 cependant, la tendance s'est ralentie, en particulier pour le Japon et les Etats-Unis. Sur l'ensemble de la période, les Etats-Unis et l'Europe ont diminué dans la même proportion l'intensité en carbone de leurs économies, conservant ainsi quasiment constant l'écart qui les sépare.

Les chocs sur le marché énergétique ont donc eu un effet plus ou moins persistant. Deux raisons sont avancées par l'Agence Internationale de l'Energie :

- la première tient au fait que la substitution par des combustibles moins émetteurs a été plus difficile dans les années 1990 : le développement du nucléaire a stagné et le gaz naturel, tout en poursuivant sa progression, n'a pas permis d'abaisser significativement l'usage du charbon ;
- la seconde est que le rythme de réduction de l'intensité énergétique des industries a chuté suite à leur accoutumance à des prix de l'énergie élevés.

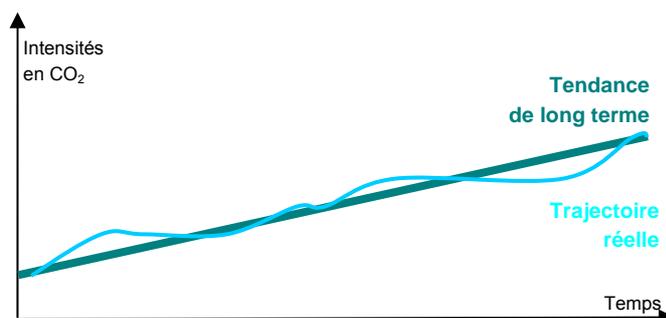
D. Estimation économétrique de l'intensité en CO₂ : l'impact du PIB et de la part de la production électrique d'origine thermique

Les observations précédentes ont permis de dégager un certain nombre de constatations qui peuvent être approfondies par des éléments quantitatifs. Deux types d'analyses ont été ainsi conduites reposant sur l'estimation des élasticités des intensités en CO₂ des économies par rapport à la croissance d'une part et aux choix énergétiques d'autre part.

Les élasticités permettent de quantifier l'évolution de l'intensité en CO₂ d'un pays lorsque le PIB ou la part de la production d'origine thermique augmente. Elles s'interprètent ainsi : si l'élasticité de l'intensité en CO₂ par rapport au PIB est de - 0,5, alors une augmentation de 1 % du PIB s'accompagne en moyenne d'une diminution de 0,5 % de l'intensité en CO₂.

Ces élasticités peuvent être évaluées à la fois sur le long et sur le court terme. Dans le premier cas elles donnent une indication sur la tendance à la décarbonation des économies (tendance des intensités en CO₂ par rapport à la croissance économique). Sur le court terme, elles évaluent à l'aide d'un modèle à correction d'erreurs (MCE) les chocs entraînés par la variation du PIB ou de la part du thermique sur la trajectoire réelle des intensités en CO₂ (variations autour de la tendance).

Figure 9 – Tendances de long terme et trajectoire réelle des émissions de CO₂.



Dans un premier temps seuls sont présentés les résultats portant sur l'Europe des 15, les Etats-Unis et le Japon. Les pays européens seront abordés plus finement dans la troisième partie.

Les résultats économétriques obtenus ici pour les grandes économies développées sont très probants pour l'Europe et le Japon, alors qu'ils sont moins fiables pour les Etats-Unis⁷ (voir tableau 7). Ceci laisse entendre qu'il manque une dimension explicative importante dans ce pays, qui pourrait être le prix de l'énergie. Ses variations sont en effet bien moins amorties aux Etats-Unis qu'en Europe par exemple du fait d'une fiscalité moindre.

Tableau 7 – Estimations des élasticités de l'intensité en CO₂ de court et moyen terme.

	Elasticités de long terme : tendance				Elasticités de court terme : effets de déviation par rapport à la tendance			
	PIB avant 1973	PIB après 1973	Part de la production électrique thermique	DW	PIB	Part de la production électrique thermique	Rappel d'équilibre	DW
Europe des 15	-0,34	-0,91	0,35	1,10	0,00*	0,78	-0,27	1,72
Japon	0,07	-0,69	-0,14*	0,79	0,33	4,55	-0,20	2,06
Etats-Unis	-0,28	-0,53	1,10	0,37	<i>Pas de corrélation⁸</i>			

* Non significatif au seuil de 10 %.

Le rappel d'équilibre indique la vitesse à laquelle l'intensité en CO₂ d'une économie, modifiée à la suite d'un choc, retourne à sa tendance de long terme (tendance). Voir lexique p.25.

La statistique de Durbin-Watson indique la zone dans laquelle une auto-corrélation des erreurs rend les résultats hasardeux. Ici les résultats sont fiables pour une statistique de DW comprise entre 1,42 et 2,33. Dans les autres cas, les résultats sont à interpréter comme des indications des liens réels et non pas des preuves. Voir lexique p.25.

Source : Mission Climat.

Sur le long terme, les résultats confirment l'impact qu'ont eu les chocs énergétiques puisque les élasticités baissent fortement, en particulier pour le Japon qui n'avait pas enclenché la décarbonation de son économie avant 1973 (l'élasticité des intensités en CO₂ par rapport au PIB était positive). L'Europe, qui était déjà engagée sur une tendance moins intensive en CO₂ que les Etats-Unis, a vu l'élasticité de ses intensités en CO₂ par rapport au PIB baisser plus fortement encore.

D'autre part l'élasticité des intensités en CO₂ par rapport à la part de la production thermique est très différente selon les pays : le niveau d'émissions des Etats-Unis est bien plus sensible à l'augmentation de la part de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles que ce qui est observé en Europe. L'explication réside dans les gains d'efficacité qui ont été obtenus dans les centrales électriques européennes : ces gains sur le long terme rendent la relation entre intensité en CO₂ et PIB

⁷ C'est également le cas des analyses économétriques pour l'Australie et le Canada.

⁸ Ce résultat pour les Etats-Unis (absence d'autocorrélation et faible statistique Durbin-Watson) indique l'absence d'une variable explicative importante. Il s'agit probablement ici du prix de l'énergie.

négative après 1973. Sur le court terme, cet effet ne se fait plus ressentir et fait apparaître, avec un coefficient fortement positif, l'utilisation de centrales plus émettrices en CO₂ pour combler les besoins énergétiques.

Sur le court terme, il est intéressant de noter que l'impact du PIB sur les intensités en CO₂ est plus fort pour l'Europe des 15 que pour le Japon. Ici l'intensité en CO₂ du Japon retourne moins vite que celle de l'Europe à sa trajectoire initiale puisqu'il faut compter 5 ans (1/0,20) au lieu de 3,7 (1/0,27) pour l'Europe.

III. L'Europe des 15 mise en perspective

L'Europe des 15 a montré jusque là des caractéristiques particulières. Cette section s'intéresse spécifiquement aux caractéristiques des pays européens par rapport aux autres pays développés et propose une étude plus approfondie pour trois groupes de pays européens : les pays qui ont été au cœur de la révolution industrielle, les pays scandinaves et les deux pays qui ont connu les croissances les plus importantes durant la dernière décennie à savoir l'Espagne et l'Irlande.

A. De « vieux » pays industriels bien engagés dans la décarbonation de leurs économies

La première analyse porte sur les 6 pays fondateurs de la Communauté européenne : la France, l'Allemagne, l'Italie, la Belgique, le Luxembourg et les Pays-Bas. Si on s'intéresse aux intensités en CO₂ et à leurs déterminants, les relations économétriques obtenues sont très significatives.

Tableau 8 – Estimations des élasticités de l'intensité en CO₂ de court et moyen terme

	Elasticités de long terme : tendance				Elasticités de court terme : effets de déviation par rapport à la tendance			
	PIB avant 1973	PIB après 1973	Part de la production électrique thermique	DW	PIB	Part de la production électrique thermique	Rappel d'équilibre	DW
Europe des 6	-0,33	-1,04	0,51	1,30	-0,25*	0,81*	-0,39	1,54
<i>Europe des 15</i>	-0,34	-0,91	0,35	1,10	0,00*	0,78	-0,27	1,72

* Non significatif au seuil de 10 %.

Source : Mission Climat.

Ces résultats montrent que ces pays ont diminué plus fortement que l'ensemble de l'Europe des 15 la sensibilité de leurs intensités en CO₂ à la croissance économique : le développement des activités tertiaires, en particulier au Luxembourg, y est certainement pour beaucoup. De plus la production électrique a été majoritairement basée sur le thermique, même si sa part dans la production totale est en baisse pour le Danemark et l'Allemagne (voir Annexe II). Seules la France et la Belgique assurent dorénavant plus de la moitié de leur production électrique grâce au nucléaire. Ces choix énergétiques expliquent une sensibilité plus forte des intensités en CO₂ à la part du thermique par rapport à l'ensemble des pays de l'Europe des 15.

Autre point important à souligner, l'élasticité de court terme par rapport au PIB est inférieure à celle qui est observée au niveau européen. Ceci est certainement lié au poids très important qu'a l'Allemagne dans cet échantillon ainsi qu'à la forte activité financière luxembourgeoise.

Cette relation nettement négative entre intensité en CO₂ et PIB se double d'autre part d'une plus grande stabilité par rapport à l'Europe des 15 : le temps moyen de retour à la tendance après une perturbation du niveau d'intensité est de 2,6 ans contre 3,7 ans pour l'ensemble des pays européens.

Une deuxième analyse plus précise s'est focalisée sur les quatre grands pays industrialisés européens que sont l'Allemagne, la France, l'Italie et le Royaume-Uni.

Tableau 9 – Estimations des élasticités de l'intensité en CO₂ de court et moyen terme des 4 grandes économies européennes

	Elasticités de long terme : tendance				Elasticités de court terme : effets de déviation par rapport à la tendance			
	PIB avant 1973	PIB après 1973	Part de la production électrique thermique	DW	PIB	Part de la production électrique thermique	Rappel d'équilibre	DW
Allemagne	-0,52	-1,12	0,65*	1,12	-0,66	0,90*	-0,38	1,40
Royaume-Uni	-0,65	-1,15	-0,17	1,52	-0,31	2,58	-0,38	2,04
France	-0,27	-1,11	0,14	0,76	0,58*	0,25	-0,22	2,10
Italie	0,71	-0,49	-0,49*	0,87	0,58	-1,84	-0,07*	1,61
<i>Europe des 15</i>	-0,34	-0,91	0,35	1,10	0,00*	0,78	-0,27	1,72

* Non significatif au seuil de 10 %.

Source : Mission Climat.

Première constatation, l'Allemagne et le Royaume-Uni ont toujours présenté les élasticités par rapport au PIB les plus fortement négatives, que ce soit avant ou après 1973. Les chocs pétroliers ont même accentué ces élasticités. Ainsi après 1973, une croissance d'un point du PIB entraîne en moyenne une baisse des intensités en CO₂ de 1,12 et 1,15 % pour l'Allemagne et le Royaume-Uni respectivement. Ce sont d'ailleurs les seuls pays dont l'élasticité de court terme des intensités par rapport au PIB est également négative. Ce décrochage consommé des intensités en CO₂ et de la croissance économique montre que le développement économique se fait aux dépens d'activités fortement émettrices. En Allemagne on a assisté à l'augmentation de l'efficacité du secteur de production énergétique ainsi qu'à une profonde restructuration industrielle à la suite de l'intégration des 5 Länder de l'Allemagne de l'Est.

Au Royaume-Uni, deux éléments ont pu jouer : d'une part la libéralisation du marché de l'énergie qui a entraîné des « switches » vers le gaz naturel (moins émetteur en CO₂ que le charbon et le pétrole) et d'autre part un développement économique tourné vers le secteur financier dont les émissions directes sont très limitées. Les changements dans l'approvisionnement énergétique britannique se traduisent par une élasticité négative sur le long terme des intensités en CO₂ par rapport à la part de production thermique.

La France et l'Italie quant à elles connaissent un impact de la croissance économique sur les intensités en CO₂ relativement semblable. L'Italie en particulier a connu un changement structurel particulièrement fort suite aux chocs pétroliers puisque l'élasticité de son intensité en CO₂ par rapport au PIB s'inverse entre les deux périodes étudiées.

En France, on a assisté à l'accentuation du décrochage des émissions de CO₂ par rapport à la croissance économique après 1973, du fait du développement du programme nucléaire. Cette orientation politique a clairement été dictée par les chocs pétroliers, alors même que les orientations précédentes visaient à accroître les capacités de production d'électricité à partir de fioul.

B. Les pays scandinaves : virage énergétique suite aux chocs pétroliers

Le virage énergétique a également concerné d'autres pays européens à l'instar de la France. Cependant il a particulièrement caractérisé les pays scandinaves.

Les pays scandinaves ne peuvent pas être considérés comme un groupe homogène car leurs intensités en gaz à effet de serre sont fortement différentes (voir figure 4) : la Finlande fait partie des pays aux intensités les plus fortes, le Danemark a une intensité intermédiaire et la Norvège et la Suède ont une intensité parmi les plus faibles.

Cette diversité se retrouve également dans les choix énergétiques. Alors que l'électricité norvégienne a toujours été à 100 % renouvelable, le mix énergétique des autres pays sur la période 1950-2003 s'est orienté vers moins de production thermique (voir Annexe II). Cela explique en partie la forte baisse observée dans les élasticités de long terme (- 1,4 en moyenne) par rapport à l'ensemble des pays européens (- 0,6). Si tous les pays scandinaves ont connu un changement structurel après 1973, il a été particulièrement fort en Suède, à la fois par l'effet prix (comme pour les autres pays) et par le changement politique et social avec la prise de conscience des problématiques environnementales.

Tableau 10 – Estimations des élasticités de court et moyen terme des pays scandinaves

	Elasticités de long terme : tendance					Elasticités de court terme : effets de déviation par rapport à la tendance			
	PIB avant 1973	PIB après 1973	Ecart entre élasticités PIB	Part de la production électrique thermique	DW	PIB	Part de la production électrique thermique	Rappel d'équilibre	DW
Pays Scandinaves	0,41	-1,02	-1,4	0,47*	1,21	-0,39*	2,12	-0,32	1,93
Danemark	0,31	-0,87	-1,2	1,09*	1,05	-0,22*	2,20*	-0,24	2,09
Finlande	0,90	-0,53	-1,4	0,44*	0,85	0,04*	1,93	-0,14	1,73
Norvège	0,28	-0,81	-1,1	∅	1,00	-0,99*	∅	-0,22	2,18
Suède	0,35	-1,77	-2,1	0,18	1,39	0,08*	0,18*	-0,09*	2,26
<i>Europe des 15</i>	-0,34	-0,91	-0,6	0,35	1,10	0,00	0,78	-0,27	1,72

∅ La production thermique de la Norvège étant nulle, l'estimation de l'élasticité est impossible.

* Non significatif au seuil de 10 %.

Source : Mission Climat.

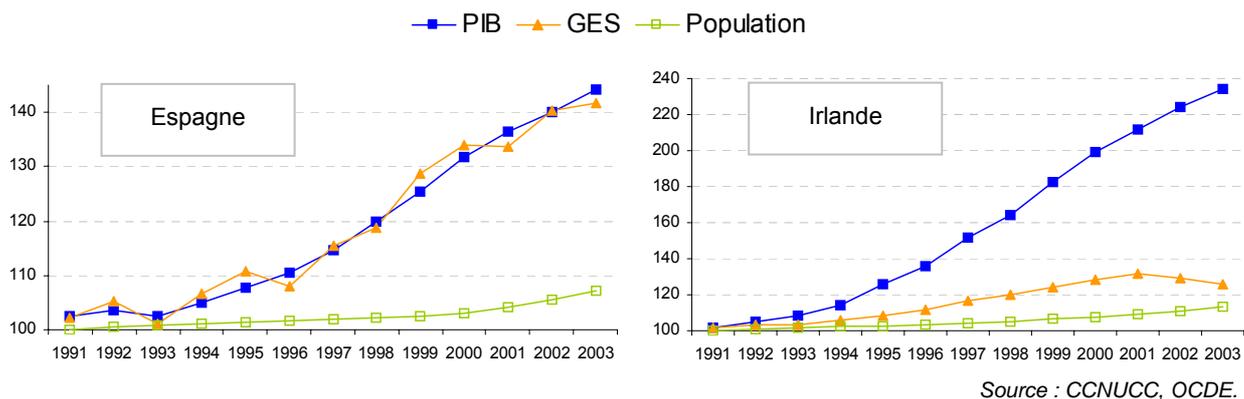
Concernant la production thermique et à l'exception de la Norvège, les pays scandinaves ont vu leur production d'électricité s'orienter vers davantage de nucléaire (Suède, Finlande) et d'énergies renouvelables (Danemark, Finlande). Les intensités en CO₂ des économies finlandaises et surtout danoises restent cependant très sensibles à l'augmentation de la part de la production électrique d'origine thermique.

C. Zoom sur les « dragons » européens : l'Espagne et l'Irlande

L'économie des pays développés a connu une croissance moyenne de 2,6 % entre 1990 et 2003. Parmi les pays européens, 4 ont connu une croissance supérieure : l'Irlande (6,8 %), le Luxembourg (4,8 %), l'Espagne (2,9 %) et la Grèce (2,8 %). Un focus a été réalisé sur l'Irlande et l'Espagne, pays aux caractéristiques tout à fait singulières.

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, l'Espagne et l'Irlande présentent des trajectoires très différentes. La première a connu une hausse des émissions parallèle à sa croissance économique. La seconde montre au contraire dès le début des années 1990 un décrochage.

Figure 10 – Indices des émissions de gaz à effet de serre, de la croissance économique et de la croissance démographique pour l'Espagne et l'Irlande de 1990 à 2003.



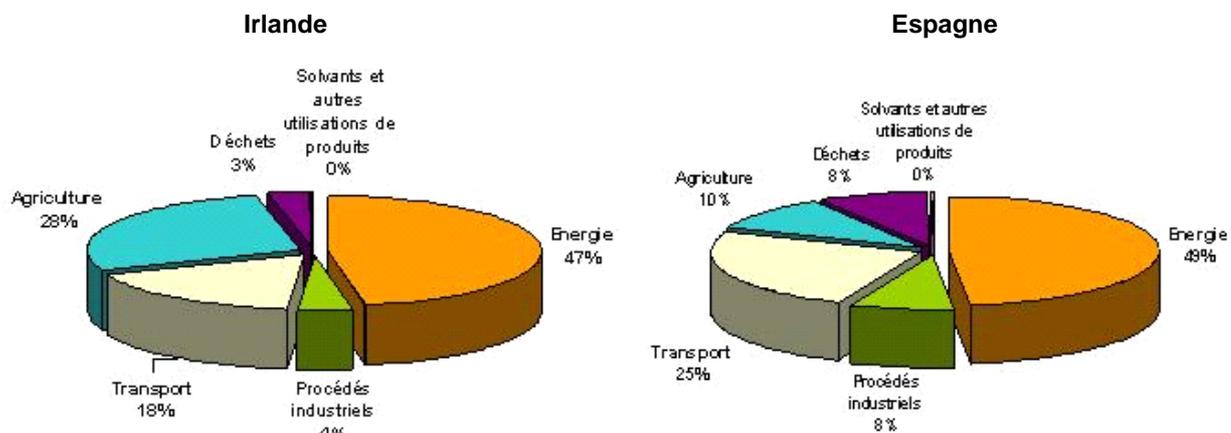
La croissance démographique a été presque deux fois plus importante sur la période considérée en Irlande (+ 13 %) qu'en Espagne (+ 7 %). Parallèlement le PIB a plus que doublé entre 1990 et 2003 en Irlande (+ 134 %) alors que la hausse est plus modérée pour l'Espagne (+ 44 %). Malgré cette hausse supérieure des deux facteurs de la production économique et de la démographie, la croissance des émissions de gaz à effet de serre reste bien plus faible que la croissance économique pour l'Irlande (+ 25 %) quand celle de l'Espagne s'envole avec la croissance économique.

Cependant l'examen des intensités en gaz à effet de serre montre que l'Irlande possède un niveau bien plus élevé que l'Espagne : du fait de l'importance de l'agriculture irlandaise (voir figure 12), qui induit des émissions de méthane et de protoxyde d'azote, la production d'une unité de PIB en 2003 induit l'émission de 0,52 kg éqCO₂ en Irlande contre 0,43 kg éqCO₂ en Espagne.

Le décrochage des émissions irlandaises par rapport à la croissance économique s'explique en partie par des facteurs agricoles comme la réduction de la taille du cheptel, mais également par des changements dans les secteurs de l'industrie et de la production énergétique. Comme le montre la figure 11, ce dernier secteur domine les émissions de gaz à effet de serre mais sa part y reste inférieure à celle observée pour l'Europe des 15 (60 %). L'augmentation des émissions sur la période 1990 - 2003 a été élevée : + 38 % pour l'Espagne et + 23 % pour l'Irlande au contraire de l'Europe des 15 (- 3 %).

Ces besoins énergétiques se retrouvent aussi dans le secteur du transport, responsable de près du quart des émissions en Espagne, alors que l'Irlande se situe dans la moyenne européenne. Dans les deux pays les hausses observées entre 1990 et 2003 sont très supérieures à la hausse européenne de 25 % : + 130 % pour l'Irlande et + 70 % pour l'Espagne.

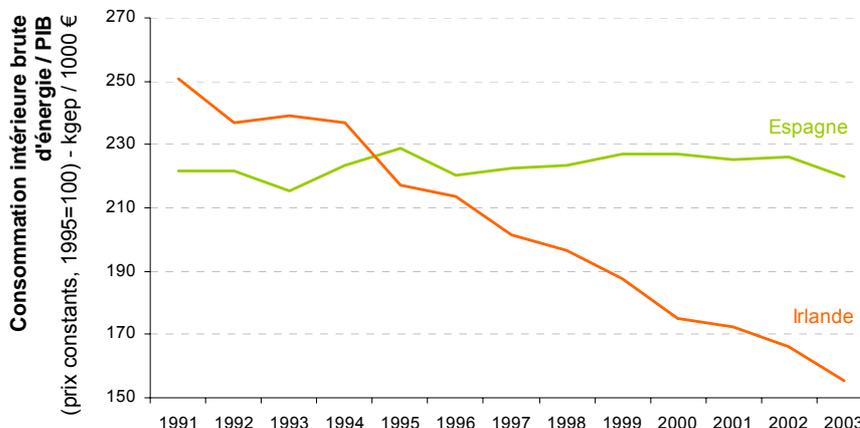
Figure 11 – Emissions de gaz à effet de serre en 2003 par secteur en Irlande et en Espagne.



Source : CCNUCC.

La forte hausse des besoins énergétiques des deux « dragons » européens correspond à la hausse des activités économiques corrigée des gains éventuels en efficacité énergétique. Dans ce domaine l'Irlande a effectué des progrès conséquents, alors que l'intensité énergétique espagnole a stagné. Cet élément pourrait s'expliquer en partie par la croissance des émissions liées aux procédés industriels, limitée à 0,2 % pour l'Irlande, mais qui atteint 26 % en Espagne entre 1990 et 2003.

Figure 12 – Intensité énergétique de l'économie, Espagne et Irlande, 1991 - 2003.

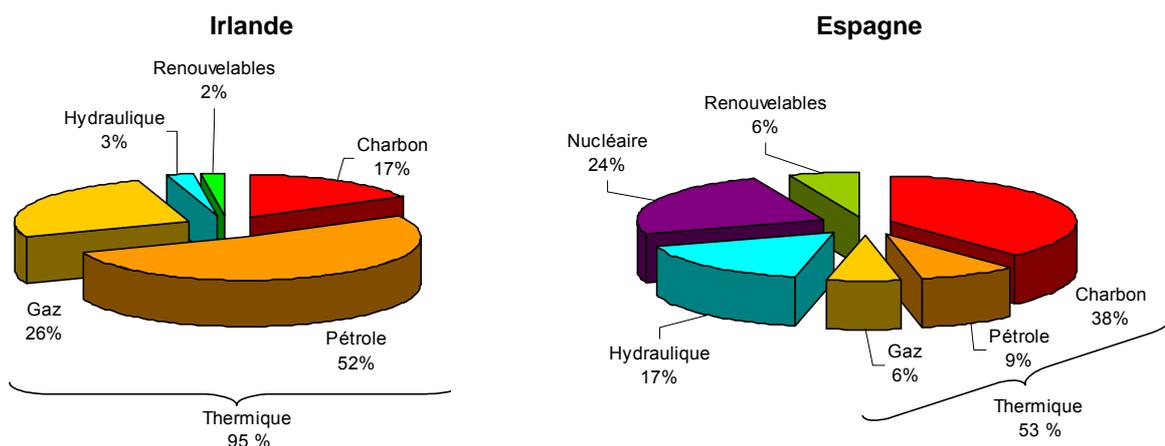


Source : Eurostat.

L'Irlande a en effet connu une utilisation croissante du gaz naturel, à la fois pour les usages industriels et résidentiels, ainsi que des fermetures d'usines de production chimique (ammoniac et acide nitrique) au début des années 2000. Cette réorientation de l'industrie, vers des industries de service moins émettrices et à plus forte valeur ajoutée, explique également en partie la différence de niveau d'intensité énergétique de l'économie avec l'Espagne.

Ces gains d'efficacité énergétique permettent à l'Irlande d'émettre de moins en moins de CO₂ par unité de PIB, alors même qu'elle possède un mix énergétique basé sur la production thermique.

Figure 13 – La production électrique en Irlande et en Espagne en 2003.



Source : Energy Information Agency, AIE.

La forte part du charbon dans le mix énergétique espagnol laisse présager des économies relativement faciles d'émissions de CO₂ par le remplacement des centrales au charbon par des centrales au gaz ou encore par des énergies renouvelables.

Cette structure actuelle de production électrique correspond bien aux résultats économétriques concernant l'évolution des intensités en CO₂ après les chocs pétroliers. Ainsi l'Irlande a vu le lien entre croissance économique et intensité en CO₂ s'inverser complètement alors que l'Espagne au contraire semble n'avoir pas connu un choc très fort lors de la crise pétrolière.

Tableau 11 – Estimations des élasticités de court et moyen terme pour l'Espagne et l'Irlande

	Elasticités de long terme : tendance					Elasticités de court terme : effets de déviation par rapport à la tendance			
	PIB avant 1973	PIB après 1973	<i>Ecart entre élasticités PIB</i>	Part de la production électrique thermique	DW	PIB	Part de la production électrique thermique	Rappel d'équilibre	DW
Espagne	-0,03*	-0,08*	-0,1	0,65	1,11	-0,53	0,50*	-0,47	1,72
Irlande	0,29	-0,54	-0,8	1,72	2,11	<i>Pas de corrélation</i>			
<i>Europe des 15</i>	-0,34	-0,91	-0,6	0,35	1,10	0,00*	0,78	-0,27	1,72

* Non significatif au seuil de 10 %.

Source : Mission Climat.

La même analyse utilisant comme 1986, date charnière de l'entrée de l'Espagne dans l'Union Européenne, montre également une baisse de l'élasticité de l'intensité en CO₂ par rapport au PIB qui passe de 0,05 à 0,03. Cette élasticité demeure toutefois positive, indiquant que l'intensité en CO₂ reste corrélée à la croissance en Espagne. Ce résultat s'obtient également pour le Portugal : il s'agit donc vraisemblablement d'un effet « rattrapage » commun aux pays méditerranéens ayant rejoint l'Europe.

Cette différence d'évolution avec l'Irlande résulterait donc de ce différentiel de richesse initial mais aussi probablement de facteurs climatiques : le développement de la demande d'air conditionné en été dans les pays méditerranéens retarde la diminution de l'intensité en CO₂ des économies.

Conclusion

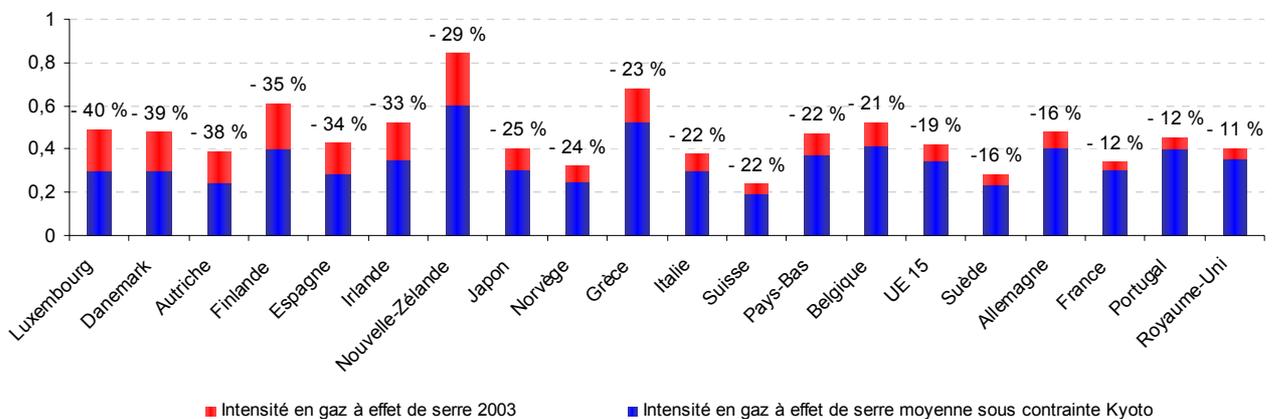
L'étude des intensités en gaz à effet de serre des pays développés a mis en évidence la grande diversité qui existe au sein des pays développés et la singularité de l'Europe des 15.

Cette variabilité a pu être rattachée aux choix d'approvisionnement énergétique et aux signaux-prix envoyés aux acteurs, comme l'ont démontré les crises pétrolières des années 1970. Ces chocs dans le domaine énergétique ont influencé les structures de production et de consommation énergétique des pays développés. Ces évolutions ont été d'autant plus importantes que dans la plupart des pays industrialisés le secteur énergétique est à l'origine de plus de la moitié des émissions.

Actuellement la décarbonation des économies des pays développés se poursuit, mais de fortes divergences demeurent. A l'inverse la convergence observée en Europe souligne l'importance de la proximité culturelle et politique. Cette convergence européenne s'est opérée avant la mise en place effective des outils économiques du protocole de Kyoto et du système européen d'échange de quotas. La baisse de l'intensité carbone des économies pourrait donc encore s'accélérer dans les années qui viennent.

Pour répondre à l'objectif du protocole de Kyoto, cette accélération sera absolument nécessaire. En terme d'intensité carbone, l'effort demandé par rapport à l'année 2003 varie beaucoup selon les pays, de -11 % pour le Royaume-Uni à - 40 % pour le Luxembourg (voir figure 14). Le renforcement des politiques de lutte contre le changement climatique sera une étape incontournable pour continuer à croître tout en respectant cet engagement international.

Figure 14 – Intensités en gaz à effet de serre : 2003 et estimation sous contrainte Kyoto.



L'estimation de l'intensité en gaz à effet de serre moyenne sous contrainte Kyoto correspond au volume d'unités de quantités attribuées (UQA) demandées par les pays à la CCNUCC fin 2006 (montant annuel maximal d'émissions) divisé par le PIB 2010 estimé à partir des prévisions de croissance de l'OCDE. Manquent les Etats-Unis et l'Australie, qui n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto, ainsi que le Canada et l'Islande qui n'avaient pas encore fait leur demande d'UQA.

Source : Mission Climat

Annexe I – Données utilisées et méthodologie

A. Périmètre de l'étude

Les pays développés sont définis par la Banque Mondiale comme des pays au niveau de vie élevé, au revenu national brut par habitant supérieur à 10 066 dollars en 2004.

La Banque Mondiale exclut de plus des pays développés Hong-Kong (Chine), Israël, le Koweït, Singapour, et les Emirats Arabes Unis, du fait de leur structure économique ou de leur gouvernement. Si on excepte les très petits pays, les pays développés correspondent en majorité à des pays de l'OCDE qui ont pris des engagements sur leurs émissions dans le cadre du protocole de Kyoto. Nous nous intéresserons donc uniquement dans cette étude à ces pays, à savoir⁹ :

- les pays de l'Union européenne des 15 : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède
- l'Australie,
- le Canada,
- les Etats-Unis,
- l'Islande,
- le Japon,
- la Norvège,
- la Nouvelle-Zélande,
- la Suisse.

B. Sources

Données économiques

La plupart des données économiques utilisées proviennent de l'OCDE. Quand cela n'était pas possible, d'autres données ont été mobilisées : le World Factbook de la CIA, qui compile des données nationales fournies par les différents ministères américains, des données de la Banque Mondiale ou encore pour les données du PIB de long terme, la « Total Economy Database » de l'Université de Groningen¹⁰. Cette dernière base correspond à la compilation de données de l'OCDE (Comptes Nationaux), d'Eurostat et, pour une grande partie des données antérieures à 1990, de l'ouvrage d'Angus Maddison « The World Economy: Historical Statistics » (OECD Development Centre, 2003).

Pour les comparaisons des PIB, les données ont été corrigées par les parités de pouvoirs d'achats plutôt que par les taux de change. Ces derniers présentent en effet deux inconvénients : celui de varier continûment y compris pour des raisons étrangères à la production des Etats (spéculation, changement des taux d'intérêts...), et celui de biaiser les évaluations des prix par des facteurs financiers et par les prix relatifs des biens échangeables.

⁹ La république de Corée fait partie de l'OCDE mais n'a pas d'engagements Kyoto ; la Slovénie a des engagements Kyoto mais n'appartient pas à l'OCDE.

¹⁰ Cette base de données présente des PIB exprimé en dollars de 1990, convertis par les parités de pouvoir d'achat de Geary-Khamis.

Les parités de pouvoirs d'achat permettent elles d'évaluer les PIB en fonction de l'évaluation monétaire d'un panier de biens et services couverts par le PIB (biens et services de consommation tels que les aliments, la fourniture d'électricité ou encore les équipements de loisirs, services gouvernementaux, biens d'équipement...). Cette méthode est plus adaptée pour les comparaisons des niveaux de production.

Emissions de gaz à effet de serre

Les changements d'usage des terres ainsi que les puits ne sont jamais pris en compte dans cette étude. En effet la séquestration du carbone n'est pas reliée à la problématique abordée, tout en ayant de fortes incertitudes de mesures et de méthodologie.

La plupart des données proviennent de l'inventaire dressé par la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCNUCC). Ces données couvrent la période 1990-2003 pour les pays de l'Annexe I. Pour les autres, seules quelques années sont disponibles, la dernière étant 2000.

Les inventaires de la CCNUCC

Les pays de l'Annexe I du protocole de Kyoto sont soumis à la publication annuelle d'un rapport national d'inventaire (NIR) ainsi que des tableaux du cadre uniformisé de présentation (CRF). Ces données sont ensuite examinées par le secrétariat de la CCNUCC, qui signale éventuellement aux pays les anomalies observées. Les pays soumettent ensuite les données corrigées au secrétariat.

Les NIR présentent les méthodes, les coefficients d'émission et les données d'activité choisis par les pays. Des révisions d'estimation peuvent être menées régulièrement, le *Guide des bonnes pratiques et gestion des incertitudes dans les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, proposé par le GIEC, étant l'instrument recommandé.

Les données concernant les émissions mondiales de gaz à effet de serre proviennent du World Research Institute (WRI), à travers sa base de données CAIT (Climate Analysis Indicators Tool). Celle-ci reprend les données officielles de la CCNUCC, de l'AIE et de la Banque mondiale, couvrant en particulier les émissions de CO₂ liées aux combustions et au ciment de 1850 à 2002 et les émissions des gaz à effet de serre d'origine anthropique¹¹ depuis 1990. Les données possèdent donc les mêmes niveaux d'incertitudes, notamment dans le domaine des changements d'usage des terres, que nous n'utilisons pas dans cette étude.

Pour les données concernant le CO₂ avant 1990, les données proviennent de l'OCDE à partir de données de l'Agence Internationale de l'Energie et ne concernent que les émissions d'origine énergétique. L'autre set de données utilisées est celui du Centre d'analyse des données sur le dioxyde de carbone (CDIAC), qui compile les émissions de CO₂ liées aux combustibles fossiles et aux cimenteries fournies par le ministère de l'énergie des Etats-Unis.

Dernier point à souligner sur l'origine des données concernant les émissions de gaz à effet de serre : il s'agit des émissions directement produite sur le sol national. Les productions associées ne sont pour autant pas destinées au marché national. Ainsi un pays exportateur, à niveau de consommation égal, aura des émissions de gaz à effet de serre d'un niveau supérieur à un pays recourant plus souvent à l'importation. Ce biais, même réduit au sein des pays développés, doit être gardé à l'esprit dans toutes les comparaisons inter pays.

¹¹ Gaz dont les émissions sont liées spécifiquement aux activités humaines (voir « équivalent CO₂ » dans le lexique p.25). La vapeur d'eau en est par exemple exclue car elle est d'origine naturelle, malgré une concentration 10 fois supérieure à celle du CO₂ dans l'atmosphère.

Annexe II – Mix énergétique des pays développés en 1980, 1990 et 2003

Le tableau ci-dessous donne la répartition de la production électrique des pays développés en fonction de la source d'énergie employée. Les données sont exprimées en pourcentage.

	1980				1990				2003			
	Thermique	Hydraulique	Nucléaire	Renouvelables	Thermique	Hydraulique	Nucléaire	Renouvelables	Thermique	Hydraulique	Nucléaire	Renouvelables
Groupe 1 : intensités en gaz à effet de serre élevées												
Australie	85	15	0	0	90	10	0	0	92	7	0	1
Nouvelle-Zélande	9	84	0	7	20	72	0	8	32	59	0	10
Canada	22	68	10	0	22	63	15	1	27	59	12	2
Grèce	84	16	0	0	95	5	0	0	89	9	0	2
Etats-Unis	77	12	11	0	69	10	19	2	71	7	20	2
Finlande	57	26	17	0	44	21	35	0	49	12	27	12
Groupe 2 : intensités en gaz à effet de serre moyennes												
Irlande	91	9	0	0	95	5	0	0	95	3	0	2
Belgique	75	1	23	1	38	0	61	1	41	0	57	2
Luxembourg	87	10	0	3	83	12	0	5	94	3	0	3
Danemark	100	0	0	0	97	0	0	3	81	0	0	19
Allemagne	83	4	12	1	68	3	28	1	63	3	28	6
Pays-Bas	92	0	6	2	93	0	5	1	90	0	4	6
Portugal	45	53	0	2	64	33	0	2	60	35	0	5
Groupe 3 : intensités en gaz à effet de serre faibles												
Espagne	68	27	5	0	46	17	36	0	53	17	24	6
UE 15	70	17	13	1	53	13	34	1	52	11	34	4
Royaume-Uni	86	1	12	0	77	2	21	0	75	1	23	2
Japon	69	16	14	0	64	11	24	2	65	10	23	2
Autriche	29	70	0	1	33	65	0	2	36	61	0	4
Italie	71	26	1	2	83	15	0	2	83	12	0	4
Islande	1	97	0	2	0	93	0	6	0	84	0	16
France	47	27	25	0	11	13	75	1	10	11	78	1
Norvège	0	100	0	0	0	100	0	0	0	99	0	1
Suède	11	62	27	1	2	51	46	1	6	40	49	5
Suisse	2	70	28	0	1	56	42	1	1	55	41	2

Source : Energy Information Administration, International Energy Annual 2004.

Annexe III – Synthèse des estimations économétriques (1950 – 2003).

Les estimations économétriques ont porté sur l'intensité en CO₂, exprimée en kg par milliers de dollars US (PPA 1990).

Pays ou groupe de pays	Elasticités de long terme (méthode des moindres carrés ordinaires - MCO- avec rupture structurelle en 1973)				Elasticités de court terme (modèle à correction d'erreurs en présence de co-intégration)			
	PIB avant 1973	PIB après 1973	Part du thermique ¹²	Statistique de DW ¹³	PIB	Part du thermique ⁸	Rappel d'équilibre	Statistique de DW ⁹
USA	-0,28	-0,53	1,10	0,37	Pas de co-intégration			
Japon	0,07	-0,69	-0,14*	0,79	0,33	4,55	-0,20	2,06
Europe des 15	-0,34	-0,91	0,35	1,09	0,00*	0,78	-0,27	1,72
France	-0,27	-1,11	0,14	0,76	0,58*	0,25	-0,22	2,10
Allemagne	-0,52	-1,12	0,65*	1,12	-0,66	0,90*	-0,40	1,40
Espagne	-0,031	-0,08	0,65	1,11	-0,53	-0,50	-0,47	1,72
Irlande	0,29	-0,54	1,72	2,11	Pas de co-intégration			
Italie	0,71	-0,49	-0,49*	0,87	0,58	-1,84	-0,07*	1,62
Royaume-Uni	-0,65	-1,15	-0,17	1,52	-0,31	2,58	-0,38	2,04
Tigres (Espagne, Portugal, Grèce, Islande, Irlande, Japon)	0,09	-0,40	1,09	0,64	0,34	2,63	-0,15	2,08
Europe des 6 (France, Allemagne, Italie, Benelux)	-0,33	-1,04	0,51	1,30	-0,25*	0,81*	-0,39	1,54
Pays méditerranéens (France, Italie, Espagne, Portugal, Grèce)	-0,01	-0,42	0,84	0,64	0,51	1,02	-0,17	1,85
Scandinavie (Norvège, Suède, Finlande, Danemark)	0,41	-1,02	0,47*	1,21	-0,39*	2,12	-0,32	1,93

* Non significatif au seuil de 10 %.

Source : Mission Climat.

¹² Part de la production thermique d'un pays ou d'un groupe de pays d'origine fossile.

¹³ La statistique de Durbin-Watson indique la zone dans laquelle les erreurs risquent d'être auto-corrélées ce qui entraîne des résultats fallacieux. Ici, avec 53 observations par variable et par pays et 3 variables explicatives, la statistique DW devrait se situer entre 1,42 et 2,33. Cela est bien évidemment le cas pour les modèles à correction d'erreur, précisément construits pour éliminer l'auto-corrélation des erreurs. Sans surprise, ce n'est que rarement le cas pour les estimations MCO car il y a au moins une relation de corrélation entre les variables. Les résultats des MCO doivent donc être interprétés avec prudence comme des indications et non pas des preuves des liens véritables, plus ou moins probables selon la valeur de la statistique DW.

Coefficient de variation : rapport de l'écart-type à la moyenne.

Consommation intérieure brute : quantité d'énergie nécessaire pour satisfaire la demande intérieure. Elle correspond à la somme de la consommation, des pertes de distribution, des pertes de transformation et des écarts statistiques.

Durbin-Watson (statistique de) : permet d'évaluer le risque d'auto-corrélation des erreurs dans une analyse économétrique. Son interprétation se fait en fonction de la taille de l'échantillon et du nombre de variables.

Elasticité : rapport des variations de deux variables. Par exemple, l'élasticité des émissions par rapport à la croissance économique est donc la variation des émissions (en %) observée pour un accroissement de 1 % du PIB.

Equivalent CO₂ : unité de masse (usuellement le gramme, le kilogramme ou la tonne) correspondant à la somme des masses des différents gaz pondérées par les valeurs correspondantes de potentiel de réchauffement global. Cette méthode permet de comparer des gaz au potentiel de réchauffement et aux durées de vie différentes. Les gaz à effet de serre d'origine anthropique reconnus par la Convention cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique sont : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le monoxyde d'azote, l'hexafluorure de soufre (SF₆) ainsi que les familles des perfluorocarbones (PFCs) et des hydrofluorocarbones (HFCs).

PIB : produit intérieur brut. Agrégat qui mesure la création de richesse à l'intérieur d'un pays sur une période donnée. Il correspond grossièrement à la somme des valeurs ajoutées des différents secteurs économiques.

Potentiel de réchauffement global : voir *équivalent CO₂*.

PPA : parité de pouvoir d'achat. Ce coefficient appliqué au PIB reflète la différence de pouvoir d'achat entre pays. Il est calculé sur un panier de biens représentatif des activités couvertes par le PIB : biens et services de consommation (alimentation, services de soin, transport, électricité...), services gouvernementaux, biens d'équipement et projets de construction. Cette méthodologie a été utilisée de préférence à la pondération par les taux de change, dont les variations peuvent être indépendantes des réalités industrielles (spéculations, changements de taux d'intérêt...).

Ppm : partie par million

Rappel d'équilibre : cette valeur indique la vitesse à laquelle l'intensité en CO₂ d'une économie, modifiée à la suite d'un choc, retourne à sa tendance de long terme.

Références

- Agence Européenne de l'Environnement (AEE), 2006. « Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2004 and inventory report 2006, Submission to the UNFCCC Secretariat », *EEA Technical report n°6*. http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2002_75/en
- Agence Internationale de l'Energie (AIE) et OCDE, 2003. *Understanding CO₂ emission trends in IEA countries – From oil crisis to climate change*. <http://www.iea.org/Textbase/envissu/cop9/publications.htm>
- Carbone Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), 2006. http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/em_cont.htm
- The Conference Board and Groningen Growth and Development Centre, 2006. *Total Economy Database*. <http://www.ggdcc.net>
- Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), 2005. *Key GHG Data*. http://unfccc.int/essential_background/background_publications_htmlpdf/items/3604.php
- Direction des Etudes Economiques du Crédit Agricole, 2005. « Quelles stratégies énergétiques dans le monde ? », *Eclairages mensuels N°91*. <http://www.credit-agricole.fr/groupe-credit-agricole/kiosque-eco/eclairages-133/eclairages-mensuels-144/index.html>
- Eurostat, 2006. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- Institut national d'Etudes Démographiques (INED), 2006. <http://www.ined.fr>
- Maddison, Angus, 2001. *The World Economy – A Millennial Perspective*. Organisation for Economic Co-operation and Development. 384 p.
- Ministère de l'Environnement irlandais, 2006. *Ireland's Pathway to Kyoto compliance; Review of the National Climate Change Strategy*. <http://www.environ.ie/DOEI/DOEIPol.nsf/wvNavView/Climate+Change?OpenDocument&Lang=#i5>
- OCDE, 2006. Portail des statistiques de l'OCDE. http://www.oecd.org/statsportal/0,2639,fr_2825_293564_1_1_1_1_1,00.html
- Energy information Administration, 2006. Official Energy Statistics from the US government. <http://www.eia.doe.gov>
- World Resources Institute (WRI), 2006. *Climate Analysis Indicators Tool (CAIT)*. <http://cait.wri.org>

Publications de la Mission Climat

* **Note d'étude N°1** : « Les fonds d'investissement dans les actifs carbone : état des lieux ».

Ariane de Dominicis, janvier 2005

Note d'étude N°2 : « Plan National d'Allocation des Quotas et territoires ».

Emmanuel Arnaud, mars 2005

* **Note d'étude N°3** : « Les plateformes de marché et le fonctionnement du système de quotas CO₂ ».

Romain Frémont, juin 2005

Note d'étude N°4 : « Les enjeux de la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le bâtiment »

Emmanuel Arnaud, septembre 2005

* **Note d'étude N°5** : « Les expériences de projets domestiques CO₂ dans le monde »

Ariane de Dominicis, septembre 2005

Note d'étude N°6 : « Agriculture et réduction des émissions de gaz à effet de serre »

Benoît Leguet, septembre 2005

* **Note d'étude N°7** : « Fonds d'investissement dans les actifs CO₂ : l'accélération »

Ariane de Dominicis, novembre 2005

* **Note d'étude N°8** : « Panorama des Plans nationaux d'allocation des quotas en Europe »

Claire Dufour et Alexia Leseur, avril 2006

* **Note d'étude N°9** : « *Trading in the rain* ; Précipitations et émissions du secteur électrique européen »

Katia Houpert et Ariane de Dominicis, juillet 2006

Rapport : « *Elargir les instruments d'action contre le changement climatique grâce aux projets domestiques* »

* **Résumé pour décideurs du rapport sur les projets domestiques**

Emmanuel Arnaud, Ariane de Dominicis, Benoît Leguet, Alexia Leseur, Christian de Perthuis, novembre 2005

L'ensemble de ces publications ainsi que la lettre d'information trimestrielle de la Mission Climat sont disponibles sur le site :

<http://www.caissedesdepots.fr/spip.php?article50>

Les publications marquées d'une étoile ainsi que la lettre d'information trimestrielle de la Mission climat sont également disponibles en anglais sur le site :

<http://www.caissedesdepots.fr/spip.php?article502>

Cette note d'étude a été réalisée dans le cadre de la Mission Climat de la Caisse des Dépôts. Les auteurs restent seuls responsables des éventuelles erreurs et omissions.

La Mission Climat de la Caisse des Dépôts est un centre de ressources qui anime et coordonne les travaux de recherche et de développement dans le champ de l'action contre le changement climatique.

Directeur de la Publication : Christian de Perthuis

Contacts Mission Climat :

- *Emilie Alberola* *01 58 50 41 76*
- *Florence Belloy* *01 58 50 96 05*
- *Ariane de Dominicis* *01 58 50 98 20*
- *Anaïs Delbosc* *01 58 50 99 28*
- *Benoît Leguet* *01 58 50 98 18*
- *Alexia Leseur* *01 58 50 41 30*
- *Christian de Perthuis* *01 58 50 22 62*
- *Xin Wang* *01 58 50 41 77*

Caisse des dépôts et consignations

Département développement durable

278, boulevard Saint Germain

75356 – PARIS SP 07