



# Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone : constats et solutions possibles

## Rapport réalisé pour le Commissariat général à la stratégie et à la prospective

Ce document est la version finale d'une étude réalisée pour le Commissariat général à la stratégie et à la prospective par Matthieu Glachant, Damien Dussaux et Yann Ménière de MINES ParisTech et Antoine Dechezleprêtre de la London School of Economics.

**Contact :**

Matthieu GLACHANT, Cerna, MINES ParisTech. E-mail : [matthieu.glachant@mines-paristech.fr](mailto:matthieu.glachant@mines-paristech.fr)  
Dominique AUVERLOT, CGSP. E-mail : [dominique.auverlot@strategie.gouv.fr](mailto:dominique.auverlot@strategie.gouv.fr)

Octobre 2013



# SOMMAIRE

<b>Résumé.....</b>	<b>5</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Cadre conceptuel.....</b>	<b>9</b>
1.1 La technologie, un bien informationnel .....	9
1.2 Stratégies d'appropriation.....	9
1.3 Les canaux de transferts de technologies.....	10
<b>2 Les transferts internationaux actuels de technologies.....</b>	<b>12</b>
2.1 Présentation des indicateurs.....	12
2.2 Source de données .....	15
2.3 Le niveau de diffusion des technologies climatiques.....	19
2.4 Le cas des pays en voie de développement.....	20
<b>3 Quelles technologies transférer et vers quels pays ? .....</b>	<b>25</b>
3.1 Approche méthodologique.....	25
3.2 Les technologies prioritaires au niveau mondial.....	27
3.3 Les zones géographiques prioritaires dans les pays en voie de développement .....	29
3.4 Étude de cas : la production d'électricité des centrales au charbon .....	30
<b>4 Quels instruments politiques ? .....</b>	<b>32</b>
4.1 Politiques de réduction des GES comme condition préalable.....	32
4.2 Renforcement de la capacité d'absorption des technologies.....	34
4.3 Droits de propriété intellectuelle.....	35
4.4 Barrières aux échanges commerciaux et aux investissements directs à l'étranger .....	38
4.5 Le Mécanisme de développement propre et les autres mécanismes du marché carbone .....	40
4.6 Initiatives privées volontaires .....	42
4.7 Mesures d'atténuation appropriées au niveau national (NAMAs) .....	44
4.8 Le Mécanisme technologique .....	45
4.9 Financement.....	47
<b>5 Transfert de technologies et compétitivité.....</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>51</b>
<b>Références.....</b>	<b>55</b>

<i>Annexes.....</i>	<i>61</i>
<i>1 : Liste complète des technologies décrites dans l'ensemble des données sur les brevets.....</i>	<i>63</i>
<i>2 : Description et codes du Système Harmonisé des biens d'équipement à basse émission carbone prises en compte dans cette étude .....</i>	<i>65</i>
<i>3 : TOP 10 des pays à l'origine d'inventions (2007-2009) .....</i>	<i>66</i>
<i>4 : Importations des inventions brevetées en lien avec le climat comme part des importations mondiales (2007-2009) .....</i>	<i>66</i>
<i>5 : Importations des biens d'équipement à faible émission carbone comme part des importations mondiales (2007-2009) .....</i>	<i>67</i>
<i>6 : Groupements des pays .....</i>	<i>67</i>
<i>7 : Scénarios considérés par l'AIE dans l'ETP2012.....</i>	<i>68</i>



## Résumé

La diffusion internationale des technologies pouvant réduire les émissions de gaz carbonique est actuellement au cœur des négociations sur le changement climatique. Le transfert Nord-Sud des technologies est particulièrement important puisque ces technologies ont jusqu'à présent été principalement développées par les pays industrialisés. Le transfert doit se faire rapidement afin d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les pays émergents qui connaissent une forte croissance économique.

Dans ce contexte, l'objectif premier de cette étude est d'émettre des recommandations sur la manière de promouvoir le transfert des technologies à basse émission carbone. Notre contribution au débat en cours est triple. Tout d'abord, nous dressons un état des lieux du paysage actuel en matière de transfert de technologies liées aux changements climatiques, basé sur la combinaison de données sur les brevets, sur les échanges commerciaux bilatéraux et sur les investissements étrangers. Ensuite, nous élaborons et mettons en œuvre une méthodologie d'identification des technologies à traiter en priorité et des pays récepteurs à cibler. Enfin, nous débattons du potentiel des différentes politiques économiques et des instruments à disposition pour promouvoir le transfert de technologies.

La problématique de la diffusion des technologies dans les économies émergentes et dans les pays les moins avancés est totalement différente. Ces derniers n'importent pas de technologies d'atténuation du changement climatique, ils sont très peu visibles dans les données transmises. En revanche, les technologies affluent dans les économies émergentes *via* différents canaux de marchands, tels que l'importation de produits et équipements manufacturés, les investissements directs à l'étranger effectués par des sociétés multinationales détentrices de technologies ou la circulation de main-d'œuvre qualifiée (environ 16 %–30 % des flux de transferts mondiaux, selon l'indicateur, un pourcentage en adéquation avec leur contribution au PIB mondial). Cependant, le transfert Sud-Sud de technologies est très limité puisque les fournisseurs de technologies sont la plupart du temps localisés dans les pays industrialisés.

Plusieurs pays (la Chine, l'Afrique du Sud, le Mexique et, dans une moindre mesure, le Brésil) sont particulièrement bien intégrés aux flux mondiaux de technologies. Les transferts sont moindres vers d'autres pays émergents ou d'autres pays en transition, notamment vers la Russie et l'Inde.

Les technologies et les pays considérés comme prioritaires sont ceux qui disposent d'un potentiel de réduction d'émissions important (la réduction d'émissions que la

technologie ou le pays peut réaliser à un prix abordable), mais attirent néanmoins peu de transferts de technologies. De ce point de vue, l'Inde semble être la zone géographique à cibler en premier lieu. En ce qui concerne les technologies, les énergies renouvelables doivent être prioritaires, en particulier les technologies hydro-électriques, solaires thermiques et photovoltaïques, éoliennes et biomasse, ainsi que les technologies de chauffage/réfrigération.

Enfin, après l'étude de l'efficacité des différentes politiques économiques dans la promotion du transfert de technologies, le message principal est, une fois de plus, de faire la distinction entre la situation des pays émergents et celle des pays les moins avancés. Dans la plupart des cas, la diffusion de technologies dans les économies émergentes est aujourd'hui portée par la demande de technologies vertes induites par les politiques environnementales des pays industrialisés (incluant le Mécanisme de développement propre). Encourager davantage le transfert technologique vers ces économies requiert de renforcer les droits de propriété intellectuelle et d'abaisser les barrières aux échanges de biens et à l'investissement afin d'augmenter les forces de marché qui stimulent l'importation de connaissances, de compétences et de technologies. Il est également nécessaire de mettre en place des politiques environnementales plus strictes et correctement appliquées dans les pays concernés (par ex. : des normes d'émissions plus strictes, des systèmes de plafonnement et d'échange de droits d'émissions de gaz à effet de serre, des taxes sur la pollution) et de renforcer leurs capacités d'absorption de technologies.

En revanche, il est peu probable que l'abaissement des barrières aux échanges et aux investissements directs à l'étranger (IDE) ou le renforcement des droits sur la propriété intellectuelle permettent le transfert technologique vers les pays les moins avancés puisqu'ils n'ont pas les capacités d'absorber les technologies étrangères. Dans ces pays, le renforcement de ces capacités est une priorité.



# Introduction

La diffusion internationale des technologies pouvant réduire les émissions de gaz carbonique est actuellement au cœur des négociations sur le changement climatique. Le transfert Nord-Sud est particulièrement important puisque les technologies bas carbone ont jusqu'à présent été développées principalement par les pays industrialisés. Le transfert doit néanmoins se faire rapidement afin d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les pays émergents qui connaissent une forte croissance économique. En effet, d'ici 2050, plus de 75 % de l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> devraient provenir des pays en voie de développement, l'Inde et la Chine représentant 50 % à elles seules.

Encourager le transfert technologique implique des défis politiques et économiques considérables. D'un côté, les pays en voie de développement considèrent le transfert de technologies comme un processus onéreux qui devrait être en partie pris en charge par les pays développés. De l'autre côté, les sociétés innovantes des pays développés craignent que des politiques agressives de transfert technologique les dépossèdent d'actifs intellectuels d'importance stratégique. Pour ces raisons, les débats politiques ont pour l'instant porté sur le financement des transferts technologiques et sur les droits de propriété intellectuelle (DPI) qui représentent pour certains pays une barrière à la diffusion des technologies (ICSTD, 2008). D'autres sujets importants abordés au cours des négociations ont porté sur la capacité d'absorption des nouvelles technologies des pays en voie de développement et sur les politiques environnementales susceptibles de créer une demande en technologies propres.

Les discussions internationales au sujet du transfert des technologies ont débouché sur la mise en place du Mécanisme technologique au cours de la 16<sup>e</sup> session de la Conférence des parties (CdP) à Cancún en décembre 2010. Ce mécanisme a pour objectif de « faciliter la mise en place de mesures importantes concernant le développement et le transfert de technologies pour soutenir l'action d'atténuation et d'adaptation au changement climatique ». Il a été officiellement lancé en 2012 à la suite de la mise en place du Comité exécutif des technologies (TEC). Ce groupe composé de vingt experts a pour but d'identifier les besoins en technologies des différents pays et de fournir aux gouvernements des recommandations et des conseils sur les politiques de promotion des transferts de technologies.

Dans ce contexte, l'objectif premier de cette étude est de faire des recommandations sur la manière de promouvoir le transfert des technologies à basse émission carbone. Nous espérons que les résultats pourront contribuer à la réflexion actuellement menée par le Comité exécutif des technologies.

Notre contribution au débat en cours est triple. Tout d'abord, nous dressons un état des lieux du paysage actuel en matière de transfert de technologies liées aux changements climatiques, basé sur la combinaison de données sur les brevets, sur les échanges commerciaux bilatéraux et sur les investissements étrangers. À la connaissance des auteurs, c'est la première fois qu'une base de données aussi complète sur le transfert des technologies liées au climat est exploitée. Ensuite, nous élaborons et mettons en œuvre une méthodologie afin d'identifier les technologies à traiter en priorité et les pays récepteurs à cibler. Enfin, nous débattons du potentiel des différentes approches en termes de politiques économiques et des instruments à disposition pour promouvoir le transfert de technologies : différencier les droits de propriété intellectuelle en matière de technologies à faible émission carbone, réformer le Mécanisme de développement propre (MDP), supprimer les barrières aux échanges et aux investissements directs à l'étrangers, augmenter les capacités d'absorption de technologies, etc.

En plus de l'analyse des données inédites sur les brevets, sur les échanges commerciaux et sur les investissements étrangers, notre étude s'appuie sur la littérature existante concernant la diffusion internationale des technologies, revue dans son ensemble par Keller (2004). Notre papier se base sur un nombre croissant de travaux étudiant les déterminants du transfert international des technologies d'atténuation du changement climatique et traite de l'intérêt des différents instruments politiques relatifs au renforcement de la diffusion des technologies (Dechezleprêtre *et al.*, 2008 ; Schmid, 2012 ; Dekker *et al.*, 2012 ; Hašičič *et al.*, 2010 ; Hašičič et Johnstone, 2011 ; Popp *et al.*, 2011 ; Verdolini et Galeotti, 2011).

La structure du rapport est la suivante : nous commençons par présenter le cadre conceptuel sur lequel notre analyse est basée. La deuxième section décrit le paysage et les tendances actuels en termes de transfert de technologies. Puis nous cherchons à identifier les technologies et les zones géographiques qui ont le plus besoin de transfert. Nous passons ensuite en revue les instruments et les différentes politiques disponibles. La partie suivante est consacrée aux aspects distributifs, et particulièrement à l'impact du transfert des technologies sur la compétitivité nationale des pays fournisseurs de technologies. Nous résumons ensuite les résultats principaux dans la conclusion.



# 1 Cadre conceptuel

## 1.1 La technologie, un bien informationnel

D'un point de vue économique, la technologie est un bien intangible. Elle peut être définie comme un ensemble cohérent d'informations techniques (spécifications techniques, savoir-faire) pouvant être matérialisées dans des biens tangibles. Qu'elle soit *tacite* (savoir-faire) ou *codée* (dessins, modèles, formules chimiques), cette information est la ressource principale de laquelle l'objet technique tire sa valeur. Par exemple, la possession d'un bien tangible permet seulement son utilisation (jusqu'à ce qu'il ne fonctionne plus), alors que la maîtrise des connaissances dont il procède permet de le (re)produire (et accessoirement de le réparer).

Le fait que les inventions soient des biens intangibles leur confère une propriété appelée non-rivalité par les économistes, qui les distingue des biens tangibles ordinaires. En effet, la composante informationnelle d'une invention ne s'épuise pas à l'usage : elle peut au contraire être diffusée auprès d'un large public et réutilisée gratuitement sans aucune limite d'espace, ni de temps. Par conséquent, la valeur sociale d'une invention peut largement dépasser le bénéfice direct qu'elle génère pour l'inventeur (considérons par exemple la carrière formidable de la roue, de la presse d'imprimerie, de la machine à vapeur ou du transistor...). Cependant, le fait que les inventions puissent facilement être imitées représente également un obstacle majeur à leur introduction sur le marché. Le développement d'une invention nécessite généralement un investissement de départ (potentiellement important), qu'un inventeur peut être réticent à effectuer s'il ne peut pas s'approprier une part suffisamment importante de la valeur sociale de l'invention.

La diffusion de la technologie est donc une étape critique du processus d'innovation. La diffusion a lieu lorsque la technologie est utilisée et génère des bénéfices. C'est également à ce stade que la technologie peut être imitée, entravant alors les inventeurs dans l'exploitation de leur technologie et les empêchant de bénéficier de l'exclusivité sur le marché. Comme le risque d'imitation peut réduire les incitations à innover, les politiques publiques doivent trouver des moyens d'encourager la diffusion tout en préservant les incitations à innover.

## 1.2 Stratégies d'appropriation

En pratique, les innovateurs utilisent différentes stratégies d'appropriation pour empêcher l'imitation de leur technologie (Cohen *et al.*, 2000) :

**Droit des brevets.** Les brevets confèrent à leurs propriétaires le droit exclusif de fabriquer, d'utiliser et de vendre l'invention protégée pour une période maximale de vingt ans, pendant laquelle le propriétaire du brevet a la possibilité de tirer des bénéfices de l'invention. En contrepartie, l'inventeur doit accepter de publier son invention, qui tombera dans le domaine public à l'expiration du brevet<sup>1</sup>. Au-delà des

---

(1) En conséquence, le système de brevet établit un équilibre entre le bénéfice pour l'inventeur et l'intérêt pour la société (que les inventions non rivales soient publiées et diffusées largement). D'un côté, l'exclusivité juridique conférée par le brevet représente un coût pour la société : elle peut provoquer une situation de monopole tarifaire et restreindre artificiellement l'accès aux inventions

coûts de la procédure de dépôt (environ 30 000 euros pour un brevet européen), l'obligation de publication peut avoir un effet dissuasif sur les inventeurs puisque les brevets déposés sont une source précieuse d'informations pour les concurrents.

**Temps d'avance.** Selon des enquêtes réalisées auprès de responsables de R&D (Cohen *et al.*, 2000), les innovations sont mieux protégées lorsque la technologie sous-jacente n'est pas encore comprise et maîtrisée par les imitateurs potentiels. Dans ce cas, le temps d'avance peut empêcher l'imitation pendant une certaine durée même si le savoir est rendu public, les concurrents étant obligés d'investir à leur tour en R&D pour pouvoir reproduire l'innovation.

**Secret.** Une autre façon efficace de protéger ses actifs intellectuels est d'éviter de les divulguer à des tiers, en gardant le savoir-faire non codé ou l'information codée secrète. L'investissement en R&D peut ensuite être récupéré *via* la production et la commercialisation de biens tangibles intégrant cette technologie<sup>1</sup>. Cependant, la capacité d'un inventeur à exploiter son invention n'est pas garantie par le secret: elle dépend du temps dont l'inventeur peut espérer disposer avant que les concurrents n'obtiennent les informations tenues secrètes. La rétro-ingénierie (démontage d'un produit pour identifier les inventions qui y sont incorporées) est, par exemple, une pratique commune dans certains secteurs (par ex. : en ingénierie mécanique). Le marché du travail génère aussi des risques de fuites importants, puisque les employés sont susceptibles de partager les connaissances acquises au cours de leurs emplois précédents.

En pratique, les stratégies d'appropriation technologique reposent généralement sur la combinaison de secret, de temps d'avance et de brevets. Dans la plupart des cas, les brevets protègent uniquement quelques éléments importants qui peuvent être isolés et brevetés comme des inventions autonomes, le reste de la technologie étant composé de savoir-faire gardés secrets. Ainsi, l'information détenue dans les brevets n'est généralement pas suffisante pour permettre une utilisation immédiate et effective de la technologie correspondante par un tiers.

### 1.3 Les canaux de transferts de technologies

La notion de « transfert de technologies » peut prêter à confusion, puisque les transferts peuvent concerner aussi bien des connaissances intangibles que des supports physiques dans lesquels les connaissances sont incorporées. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes principalement intéressés au premier type de transfert, puisqu'il permet l'appropriation et l'exploitation d'un savoir technologique directement dans le pays récepteur. Cependant, la diffusion des connaissances et le transfert des biens intégrant ces connaissances sont souvent liés en pratique.

Comment les connaissances sur les technologies circulent-elle d'un pays à l'autre ? Il est important de faire une première distinction entre les canaux marchands de transfert de technologies et les transferts de connaissances (ou diffusion) qui ne se font pas sur le marché.

---

pour les tiers. De l'autre côté, la perspective des rentes générées par ce monopole temporaire est un moyen efficace d'inciter d'éventuels inventeurs à investir dans le développement de nouvelles innovations.

(1) L'expertise peut également être commercialisée sous la forme de services, sans pour autant être divulguée au client.

- D'une part, la technologie et le savoir correspondant peuvent être transférés *via* des transactions volontaires dans le but de commercialiser et/ou d'exploiter des produits technologiques dans le pays récepteur. Les différents canaux possibles sont le commerce international de biens manufacturés, les IDE et la concession de licences de technologies.
- D'autre part, les connaissances peuvent également être diffusées largement dans le pays récepteur sans qu'il n'y ait aucune transaction commerciale. Cela peut être le cas si un inventeur examine un brevet publié dans un pays étranger et développe une technologie à partir de ces connaissances.

Cependant, dans la plupart des cas, la diffusion de connaissances résulte de transactions commerciales *via* la rétro-ingénierie, la circulation de main-d'œuvre qualifiée ou les interactions avec les fournisseurs et des distributeurs locaux (Keller, 2004). La quantité de connaissances transférées et diffusées dans un pays récepteur dépend tout d'abord des canaux de commercialisation à travers lesquels le transfert international de technologies va s'opérer. Même si tous les canaux impliquent un certain degré de diffusion de connaissances, le commerce de biens manufacturés est en effet beaucoup moins riche en savoir que les IDE, et les IDE que les concessions de licences. Ces différences sont expliquées ci-dessous et résumées dans le tableau 1.

Le commerce international de biens manufacturés implique peu de transfert transfrontalier de connaissances, tout simplement parce que ces dernières demeurent dans le pays d'origine et y sont directement exploitées. Cependant, même dans ce cas, il peut y avoir une diffusion de connaissances dans le pays récepteur (Rivera-Batiz et Romer, 1991). Les sociétés locales peuvent en effet pratiquer la rétro-ingénierie sur les produits importés ou acquérir des connaissances *via* leurs relations commerciales (par ex. : en tant que client ou distributeur) avec la société d'origine. Des preuves empiriques supportent la thèse que l'importation de biens d'équipement, tels que des machines, améliore la productivité du pays récepteur. Coe *et al.* (1997) montrent, par exemple, que la part d'importations de machines et d'équipements dans le PIB a un effet positif sur la productivité totale des facteurs des pays en voie de développement. Dans leur analyse descriptive, Lanjouw et Mody (1996) montrent que les équipements importés sont une source majeure de technologies environnementales pour certains pays.

Les investissements directs à l'étranger impliquent plus de transfert de connaissances que le commerce de marchandises, puisqu'ils permettent d'exploiter ces connaissances au sein d'une filiale étrangère et non plus seulement dans le pays d'origine lui-même. Ils engendrent également une diffusion plus importante, puisque les employés des filiales sur place ont l'opportunité de se familiariser avec la technologie et peuvent par la suite travailler au sein d'une autre société du pays récepteur. Les entreprises locales peuvent également augmenter leur productivité en observant les entreprises étrangères voisines ou en devenant leur fournisseur ou leur client. Dans l'ensemble, la littérature fournit des preuves tangibles sur le fait que les IDE sont un canal important de diffusion de technologies, par lequel les entreprises multinationales transfèrent des technologies spécifiques à leurs filiales étrangères (voir par exemple, Lee et Mansfield, 1996 ; Branstetter *et al.*, 2006).

Le principal objectif de la concession de licence est d'effectuer un transfert de connaissances complet au preneur de licence afin de lui permettre de l'exploiter

directement. Par conséquent, les connaissances sortent du pays et de l'entreprise d'origine et tombent dans les mains d'un tiers. Les risques d'imitation sont plus élevés dans ce cas puisque les détenteurs de licence peuvent adopter des comportements opportunistes (possiblement hors contrat), tels que l'utilisation de connaissances pour développer leur propre technologie ou son partage avec d'autres acteurs locaux.

**Tableau 1 Localisation des connaissances et mécanismes de diffusion locale  
via différents canaux de transfert**

Canaux de transfert	Localisation des connaissances		Mécanisme de diffusion dans le pays récepteur
	Géographique	Juridique	
<b>Exportations de biens d'équipement</b>	Pays d'origine	Entreprise d'origine	Rétroingénierie
<b>Investissements directs à l'étranger</b>	Pays récepteur	Entreprise d'origine	Rétroingénierie + circulation de main d'œuvre
<b>Concession de licence</b>	Pays récepteur	Client	Ingénierie inversée + circulation de main d'œuvre + opportunisme du client

## 2 Les transferts internationaux actuels de technologies

Dans cette partie, nous présentons la tendance actuelle en matière de transferts internationaux et son évolution depuis 1990. L'objectif de cette description est d'avoir la vision la plus précise possible de la situation actuelle, afin d'analyser dans les parties suivantes les directions à prendre et les instruments disponibles. La tâche est complexe puisque nous cherchons à décrire des flux d'actifs intangibles et que nous concentrons notre travail sur les pays en voie de développement, pour lesquels les statistiques ne sont pas de très bonne qualité contrairement aux pays développés. Avant de présenter les résultats, nous décrivons en détail nos indicateurs et les sources des données utilisées.

### 2.1 Présentation des indicateurs

Évaluer les flux transfrontaliers de technologies suppose de disposer d'indicateurs mesurant les canaux de transferts marchands présentés dans la partie précédente. Dans cette étude, nous avons utilisé des données mesurant d'une part le commerce international des biens d'équipement à basse émission de carbone et d'autre part les flux d'investissements directs à l'étranger réalisés par des entreprises actives dans l'économie bas carbone.

Malheureusement, les données sur les flux internationaux de paiement des redevances ne sont pas disponibles. Cependant, on observe que les transferts *via* les concessions de licences sont beaucoup moins importants que le commerce international et que les investissements directs à l'étranger, notamment en matière de technologies environnementales qui nous intéressent particulièrement. La balance internationale des paiements fournit un premier indicateur des transferts internationaux de paiement associés à la propriété intellectuelle. Les flux (sommes des recettes et des dépenses) de la « balance des paiements des technologies » en 2011

ont représenté environ 0,3 % du PIB à l'échelle mondiale, contre seulement 2,4 % et 29,3 % respectivement pour les investissements directs à l'étranger et les exportations de biens et services (indicateurs de la Banque mondiale, <http://data.worldbank.org/>). Cependant, cet indicateur doit être considéré comme étant la limite supérieure du poids que représentent les concessions de licences de technologies. En effet, il prend en compte également des éléments qui ne sont pas en lien avec la technologie, tels que les redevances sur les marques déposées ou les droits d'auteur. Par ailleurs, une partie des redevances sur les brevets correspond à des transferts internes entre entités d'une même entreprise dans des pays différents : ceux-ci relèvent fréquemment de stratégies d'optimisation fiscale plutôt que de réels transferts technologiques. Smith (2001) fournit des chiffres plus précis pour le cas des États-Unis ; elle montre ainsi que les licences à des entreprises non affiliées représentent moins de 0,1 % de la valeur totale des licences, des investissements directs à l'étranger et des exportations de biens et de services des États-Unis vers le reste du monde en 1989. Anand et Khanna (2000) démontrent par ailleurs qu'environ 68 % des contrats de licence interviennent dans deux secteurs seulement : le secteur chimique et pharmaceutique (46 %) et le secteur électronique et équipements électriques (22 %) qui sont peu associés aux technologies d'atténuation du changement climatique. Une étude récente sur l'industrie photovoltaïque solaire chinoise a également confirmé que la concession de licence ne joue aucun rôle dans ce secteur ; les vecteurs principaux étant les IDE et les échanges de biens manufacturés (de la Tour *et al.*, 2011).

Nous pouvons ainsi concentrer toutes nos analyses sur le commerce international et les IDE. Ces indicateurs présentent cependant l'inconvénient de ne pas mesurer directement les flux d'informations transfrontaliers, mais les flux de marchandises et de capitaux auxquels ils sont vraisemblablement associés. La contribution réelle du commerce de marchandises et des IDE en matière de diffusion de technologies peut beaucoup varier selon les secteurs industriels, les marchés et les technologies.

Des études empiriques suggèrent que chacun des trois canaux de transfert (commerce international, IDE et concession de licence) est associé à une protection par le dépôt de brevets (Maskus, 2000 ; Smith, 2001 ; Dechezleprêtre *et al.*, 2013). C'est pourquoi nous utilisons également les données de brevets. Le brevet est un indicateur de transfert de technologies puisqu'il confère le droit exclusif d'exploiter commercialement une technologie dans le pays où il a été déposé. Comme le dépôt de brevet est une procédure onéreuse, nous pouvons raisonnablement supposer que les inventeurs vont utiliser effectivement la technologie dans le pays récepteur, et donc qu'il y a un transfert de technologies associé au dépôt de brevet. Cette approche a été utilisée, entre autres, par Dechezleprêtre *et al.*, (2011, 2013).

Le principal avantage que confère l'utilisation des brevets comme mesure du transfert de technologies est que les données sont disponibles à des niveaux très désagrégés de technologies. Nous pouvons clairement identifier les innovations dans de nombreuses technologies climatiques alors que les flux d'investissements en R&D, de commerce international ou d'IDE ne sont pas toujours disponibles au même niveau de détail. Par ailleurs, le dépôt de brevet est plus directement lié à l'information et à la connaissance que les statistiques sur le commerce international et les IDE.

L'utilisation des brevets comme indicateur de transfert de technologies présente néanmoins des limites. Tout d'abord, toutes les inventions ne sont pas brevetées, même si, la plupart des innovations les plus importantes sur le plan économique

semblent avoir été brevetées (Dernis and Guellec 2001). La valeur des brevets individuels est également hétérogène. Cela reste un problème mineur dans notre étude puisque nous nous concentrons sur les inventions « exportées », qui ont généralement plus de valeur (Harhoff *et al.*, 2003 ; van Zeebroeck, 2011). Il est important de noter que la propension à breveter diffère selon les secteurs et la nature de la technologie (Cohen *et al.*, 2000). Ainsi, lors de la comparaison des différentes technologies, nous ne nous reposons pas sur des valeurs absolues (par ex. : le nombre de brevets dans un pays donné), mais sur des indicateurs relatifs (par ex. : la proportion de brevets dans un pays par rapport au nombre total de brevets déposés dans le monde pour la même technologie). Une autre limite est que, même si un brevet confère un droit exclusif d'utilisation d'une technologie dans un pays donné, nous n'avons aucune information sur le fait que cette technologie ait été effectivement utilisée ou non. Toutefois, le coût du dépôt est relativement élevé, si l'on prend en compte les coûts de préparation de dossier et les charges administratives relatives à la procédure de validation (Van Pottelsberghe et François, 2009). Par exemple, en 2005, le dépôt d'un brevet auprès de l'Office européen des brevets (OEB) coûtait environ 30 000 euros (Roland Berger, 2005). Dans ces conditions, les inventeurs ne font donc généralement pas de demande de brevet, à moins qu'ils soient absolument certains du potentiel commercial de leur technologie. Pour les mêmes raisons, ils ne déposent généralement pas de brevet dans les pays où la technologie ne sera probablement pas exploitée. Des preuves empiriques suggèrent en effet que les inventeurs ne font pas de dépôt de brevet tous azimuts : une invention n'est brevetée que dans deux pays en moyenne (voir Dechezleprêtre *et al.*, 2011<sup>1</sup>).

Dans le paragraphe suivant, nous décrivons également les capacités d'absorption des pays. Nous avons remarqué que le monde regorge d'exemples de projets de transfert de technologies qui échouent à cause du manque de capacités adéquates dans les pays récepteurs pour mettre en œuvre la technologie. Plusieurs facteurs (disponibilité du personnel technique qualifié, information sur les technologies disponibles, institutions sociales réduisant les coûts de transaction) déterminent la capacité à absorber avec succès les technologies étrangères. On fait généralement référence à la *capacité d'absorption* d'un pays (Fagerberg, 1994 ; Keller, 1996 ; Worrell *et al.*, 1997 ; Griffith *et al.*, 2004 ; Kneller & Stevens, 2006). Afin de mesurer cette capacité, nous nous sommes servis de deux indicateurs utilisés dans d'autres études similaires :

- le pourcentage d'inscriptions dans l'enseignement supérieur (qui définit le pourcentage de lycéens diplômés admis à l'université). Cet indicateur mesure les capacités génériques transversales à toutes les technologies ;
- le stock d'inventions (mesuré par les brevets) développées par des inventeurs locaux dans la technologie. Cet indicateur mesure l'étendue des connaissances disponibles dans un secteur technologique donné et est ainsi spécifique à chaque technologie. Plus précisément, l'indicateur représente le stock actualisé d'inventions à forte valeur déjà déposées dans le même domaine technologique par des inventeurs locaux. Il est calculé à partir des données de la base PATSTAT que nous décrivons ci-dessous. L'actualisation reflète l'obsolescence progressive des nouvelles inventions. La valeur choisie pour la dépréciation annuelle de capital en R&D est de 15 %, une valeur communément utilisée dans la littérature (voir Keller, 2004). Nous nous sommes limités uniquement aux inventions à forte valeur ou exportées, afin d'éliminer les brevets de faible valeur déposés dans un seul pays uniquement.

---

(1) 75 % des inventions brevetées sont protégées dans un seul pays uniquement.

## 2.2 Source de données

Nous avons rassemblé les données à partir de quatre sources principales : la base de données de brevets de l'OCDE/OEB, la base de données COMTRADE des Nations unies, la base de données ORBIS du Bureau Van Dijk et les indicateurs de développement de la Banque mondiale.

### 2.2.1 Données sur les brevets

Les données sur les brevets sont issues de la base de données de l'OEB – Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT). La base PATSTAT est la base de données internationale sur les brevets la plus importante à disposition de la communauté académique avec presque soixante-dix millions de documents relatifs aux brevets enregistrés. Les documents sur les brevets sont classés selon la classification internationale des brevets (CIB) et les systèmes de classification nationaux. Cela nous permet d'identifier les technologies d'atténuation du changement climatique. Plus spécifiquement, nous avons utilisé la nouvelle catégorie « Y02 » mise en place par l'Office européen des brevets pour identifier les brevets dans la base PATSTAT se rapportant aux « technologies ou applications pour l'atténuation ou l'adaptation aux changements climatiques ». Cette nouvelle classification est le résultat d'efforts sans précédent réalisés par l'Office européen des brevets. Des spécialistes des brevets dans chacune des technologies, avec l'aide d'experts externes, ont développé un système d'identification des brevets liés aux technologies d'atténuation au changement climatique.

La catégorie Y02 permet à ce jour l'identification la plus précise des technologies d'atténuation au changement climatique et est en passe de devenir la norme internationale pour les études sur les innovations propres.

Nous avons identifié les brevets transférés au niveau international comme étant des brevets déposés par un inventeur venant d'un pays différent de celui dans lequel il souhaite une protection (par exemple, des brevets déposés aux États-Unis par un inventeur allemand).

### 2.2.2 Données sur le commercial international

Les données du commerce international en dollars américains proviennent de la base de données COMTRADE des Nations unies qui répertorie les échanges bilatéraux entre les pays à un niveau extrêmement précis de produits. Selon l'année, la base COMTRADE couvre entre 70 % à 90 % du commerce mondial mesuré à partir des données de la base de données de l'OMC.

Comme cela est le cas pour les données de brevets, le système de classification extrêmement détaillé utilisé par la base de données COMTRADE (une classification des marchandises en six chiffres) permet l'identification d'équipements intégrant des technologies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (turbines éolienne par exemple). Nous mesurons ensuite le transfert de technologies par la valeur marchande de ces biens échangés entre les partenaires commerciaux.

### ***2.2.3 Données sur les investissements étrangers***

Pour mesurer les investissements directs étrangers, nous nous sommes appuyés sur la base de données financière ORBIS, fournie par le Bureau Van Dijk sous licence commerciale. La base ORBIS comprend des données au niveau firme sur les stocks d'investissements des entreprises dans les pays étrangers (à la suite de fusions et acquisitions, de créations de filiales, etc.). Afin d'identifier les investissements directs à l'étranger réalisés par des entreprises dans les secteurs liés aux changements climatiques, nous avons fait correspondre les données de la base ORBIS avec celles de la base PATSTAT et avons identifié les entreprises détentrices d'au moins un brevet dans le domaine des technologies climatiques. La raison de notre méthode est double. Cela permet, premièrement, de fournir un indicateur des IDE au niveau des technologies. Les classifications par secteur économique disponibles au niveau firme sont en effet trop agrégées pour permettre une analyse sérieuse au niveau des technologies. Par exemple, nous pouvons identifier les entreprises dans le secteur de la « production d'électricité », mais nous ne pouvons pas identifier les producteurs d'énergies renouvelables. Deuxièmement, cela permet de déterminer les IDE impliquant potentiellement le transfert de technologies d'atténuation du changement climatique. Cela explique pourquoi les statistiques sur les brevets et les IDE ont le même périmètre d'étude (voir ci-dessous).

Les données sur les IDE posent une difficulté spécifique, puisque les informations sur le volume des investissements sont souvent manquantes, particulièrement dans les pays en voie de développement. Afin de contourner cette difficulté, l'indicateur de transfert de technologies que nous avons retenu est le nombre de liens capitalistiques entre les entreprises du pays d'origine et les entreprises du pays récepteur, plutôt que le volume des investissements dans un « pays B » par une entreprise située dans un « pays A ». Cet indicateur est donc une mesure de l'intensité des liens capitalistiques entre deux pays.

### ***2.2.4 Données sur les capacités d'absorption***

Comme expliqué précédemment, nous avons utilisé des données sur les brevets pour calculer le stock d'inventions par technologie. Les indicateurs de développement de la Banque mondiale fournissent les données sur les taux d'inscription dans l'enseignement supérieur des différents pays.

### ***2.2.5 Couverture géographique***

Le tableau 2 présente la couverture géographique et temporelle des données. La couverture géographique est presque intégrale s'agissant des données sur le commerce international et les IDE : la base COMTRADE inclut les 192 pays membres des Nations unies et la base ORBIS rassemble les informations de 197 pays. Avec 80 offices de brevets recensés dans la base PATSTAT, les données sur les brevets ne sont pas aussi complètes mais comprennent les offices de brevets les plus importants dans le monde. Étant donné la couverture géographique de l'ensemble des données, nous pouvons affirmer avec confiance que si certains pays (en particulier les pays les moins avancés) n'apparaissent dans aucune des trois dimensions de notre jeu de données, c'est qu'ils ne participent pas à la diffusion internationale des technologies. Cependant, il y a quelques exceptions importantes : l'Inde, l'Indonésie, les Philippines, le Vietnam, le Pakistan, le Bangladesh, le Nigeria et la Thaïlande.



**Tableau 2 : Couverture géographique des différentes sources de données**

	<b>Définition</b>	<b>Source des données</b>	<b>Couverture géographique</b>	<b>Période</b>
Brevets	Volume de brevets déposés dans le pays récepteur par des inventeurs situés dans le pays d'origine	PATSTAT	80 offices de brevets ; exceptions majeures : Inde, Indonésie, Philippines, Vietnam, Pakistan, Bangladesh, Nigeria et Thaïlande.	1990-2009
Commerce international	Volume des échanges bilatéraux de biens d'équipement à faible émission carbone (en valeur)	COMTRADE	205 pays	1990-2009
Investissements directs à l'étranger	Nombre de filiales dans le pays récepteur détenues par les entreprises du pays d'origine ayant au moins un brevet lié à une technologie à faible émission carbone.	ORBIS	197 pays	2011
Capacités d'absorption	Stock actualisé d'inventions brevetées dans le pays récepteur Le pourcentage d'inscriptions dans l'enseignement supérieur	PATSTAT Indicateurs de développement de la Banque mondiale	80 offices de brevets	2007-2009

### ***2.2.6 Périmètre des technologies***

Notre étude couvre une vaste gamme de technologies dans la plupart des secteurs de l'économie. Le tableau 3 présente la couverture technologique précise de l'étude et des informations plus détaillées sont présentées dans les annexes 1 et 2. De toute évidence, cette analyse n'a pas pu prendre en compte toutes les technologies susceptibles de pouvoir réduire les émissions de carbone. La raison principale est que leur diffusion n'implique pas forcément de dépôt de brevet ou de commerce international. Cela est le cas pour l'agriculture et la sylviculture : les technologies de restauration des sols, de reforestation, de gestion des rizières et des prairies ne sont pas représentées, ni dans les données du commerce international ni dans les données sur les brevets. Une autre raison est également que les classifications utilisées pour les données sur le commerce international et sur les brevets ne nous permettent pas d'identifier certaines technologies, en particulier les technologies dont l'objectif est d'améliorer l'efficacité énergétique dans l'industrie. En pratique, les économies d'énergie dans le secteur industriel consistent la plupart du temps à utiliser une version moins énergivore du matériel de production. Il ne s'agit pas d'ajouter un équipement spécifique pour économiser de l'énergie dans la chaîne de production. Le problème est que les statistiques sur les brevets ou sur le commerce international ne sont pas assez détaillées pour permettre de distinguer les différentes versions d'un même équipement. Pour donner un exemple, le code COMTRADE 841780 correspond

**- Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone -**

à « fourneaux et fours industriels/de laboratoire », mais aucune distinction n'est faite entre les fourneaux économes en énergie et les fourneaux très énergivores. Néanmoins, les technologies de l'ensemble de nos données représentent 65 % du potentiel de réductions d'ici 2030, comme identifiées par la courbe d'abattement de McKinsey.

Les données sur les brevets et les IDE proposent la couverture la plus large possible : elles sont complètes concernant la production énergétique (le charbon plus propre est inclus). Les données sont également bien disponibles pour les secteurs du transport et de l'efficacité énergétique des bâtiments (isolation, chauffage et éclairage). Pour l'efficacité énergétique dans l'industrie, les données sont plus restreintes (à l'exception de l'aluminium et de certains équipements dans l'industrie lourde). Les données sur le commerce international ne sont pas aussi complètes puisque la classification des produits utilisée pour organiser les données sur les échanges ne propose pas le même niveau de précision, comme illustré ci-dessus.

**Tableau 3 : Secteurs technologiques compris dans l'étude**

<b>Groupe technologique</b>	<b>Classe technologique</b>	<b>Flux des brevets</b>	<b>Flux commerciaux</b>	<b>IDE</b>
Énergies renouvelables	Biocarburants	X		X
	Carburants issus de déchets	X		X
	Géothermie	X		X
	Hydroélectricité	X	X	X
	Marine	X		X
	Solaire photovoltaïque	X	X	X
	Solaire thermique	X	X	X
	Éolienne	X	X	X
Nucléaire	Nucléaire	X	X	X
Combustion	Charbon plus propre	X		X
Atténuation du changement climatique	Captage et stockage de CO2	X		X
	Captage ou élimination des GES autres que le CO2	X		X
Contribution indirecte à l'atténuation	Stockage de l'énergie	X	X	X
	Technologie de l'hydrogène	X		X
	Piles à combustible	X		X
	Distribution d'électricité	X		X
Efficacité énergétique du transport	Véhicules électriques	X	X	X
	Véhicules hybrides	X	X	X
	Efficacité énergétique des moteurs	X		X
	Efficacité énergétique - meilleure conception des véhicules	X		X
	Locomotives alimentées par des accumulateurs électriques		X	
Efficacité énergétique des bâtiments	Ciment moins énergivore	X	X	X
	Chauffage	X	X	X
	Isolation	X	X	X
	Éclairage	X	X	X

Efficacité énergétique dans l'industrie	Four à arc électrique pour la production d'aluminium	X		X
	Économiseurs, surchauffeurs, appareils de ramonage ou de récupération des gaz		X	

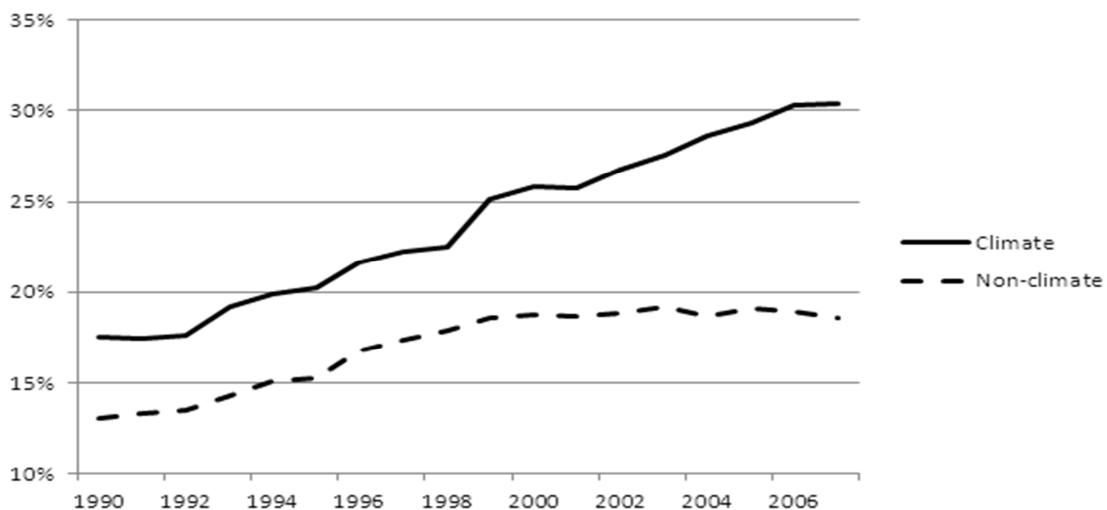
### 2.3 Le niveau de diffusion des technologies climatiques

Nous allons maintenant décrire la diffusion internationale des technologies d'atténuation du changement climatique.

Le premier constat est que ces technologies traversent déjà les frontières nationales malgré l'absence de politiques internationales explicites de promotion des transferts internationaux de technologies. La figure 1 montre l'évolution de la part des inventions internationales brevetées depuis 1990 pour les technologies climatiques et les technologies non climatiques. Par le terme d'inventions « internationales », nous désignons les inventions brevetées dans au moins deux pays et qui peuvent être utilisées comme un indicateur du niveau global de la diffusion internationale. Plus de 30 % des inventions en lien avec le climat étaient internationales en 2007. Ce chiffre est nettement plus élevé que la moyenne pour les technologies non climatiques (moins de 20 %) et l'écart entre les deux types de technologies ne cesse de se creuser depuis 2000.

Les statistiques sur le commerce international montrent la même tendance avec une augmentation annuelle des échanges commerciaux internationaux de biens d'équipement à faible émission carbone de 18 % par an en moyenne depuis 1990, contre 13 % pour les biens d'équipement sans relation avec le climat.

**Figure 1 : Part des inventions internationales brevetées, 1990-2007**



Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT

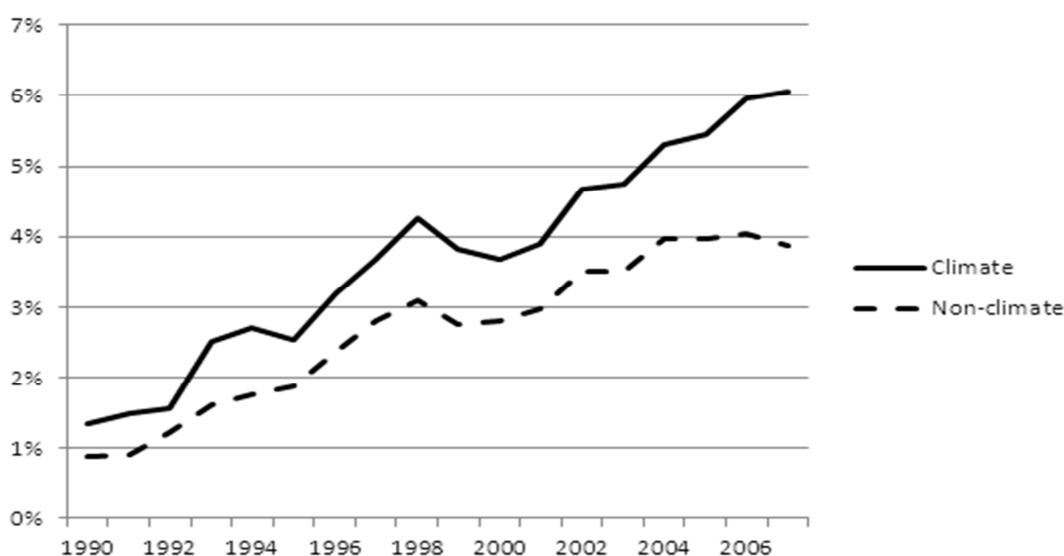
Le fait que les technologies soient d'ores et déjà plus diffusées au niveau international que les autres est un élément positif puisque cette diffusion est nécessaire : la plupart des inventions sont générées dans un nombre limité de pays industrialisés. Les États-

Unis, l'Allemagne et le Japon réunis représentent presque 60 % des inventions mondiales (voir l'annexe 3). De plus, l'innovation dans les technologies climatiques est plus concentrée que l'innovation dans les technologies non climatiques. Nos données indiquent qu'une diffusion plus intense peut compenser une activité d'innovation plus concentrée.

## 2.4 Le cas des pays en voie de développement

La figure 2 montre que le transfert de technologies vers les pays du Sud a augmenté de façon importante entre 1990 et 2007 et, à l'instar de la situation mondiale décrite ci-dessus, la diffusion des technologies climatiques est en moyenne plus élevée que les autres technologies.

**Figure 2 : Part des inventions internationales brevetées déposées dans au moins un pays en voie de développement, 1990-2007**



Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT

Le résultat de cette évolution est que le transfert de technologies vers les pays émergents est d'ores et déjà important, quel que soit l'indicateur utilisé (cf. tableau 4). Les pays émergents jouent un rôle particulièrement actif dans l'importation de biens d'équipement à faible émission de carbone. Ils sont également de grands exportateurs avec 14 % du commerce international de ces biens provenant des économies émergentes. Cela reflète le succès des pays comme la Chine dans la fabrication d'équipements pour la production d'énergie renouvelable (par exemple, panneaux photovoltaïques et turbines éoliennes). Les statistiques montrent également des transferts importants par le biais des investissements directs à l'étranger (30 % des liens IDE mondiaux). Les échanges de brevets entre les pays du Nord et les pays émergents sont en revanche plus faibles (16 % des flux mondiaux). Une des explications possibles est que les détenteurs de technologies craignent une médiocre application du droit de la propriété intellectuelle dans les pays du Sud.

Le cas des pays les moins avancés est totalement différent de celui des pays émergents. Les trois indicateurs sont porteurs du même message : ils n'importent tout simplement pas de technologies d'atténuation du changement climatique.

Qu'en est-il du cas spécifique des échanges de technologies Sud-Sud entre économies émergentes ? Le transfert des brevets liés aux technologies climatiques ou les flux d'IDE entre les pays en voie de développement n'existe pratiquement pas (moins de 1 % des flux transfrontaliers des brevets et 1,9 % des liens en matière d'IDE), mais le commerce international n'est pas négligeable (10 % du total mondial). Rappelons toutefois que le commerce de biens d'équipements est le canal qui implique un échange de connaissances plus limité que les autres canaux de transfert de technologies.

**Tableau 4 : Matrice origine – destination : distribution des inventions brevetées exportées, commerce international de biens d'équipement à faible émissions de carbone, et liens d'IDE**

Circulation des brevets	Destination		
	OCDE	Économies émergentes	Pays les moins avancés
Origine			
OCDE	75 %	16 %	2 %
Économies émergentes	5 %	<1 %	<1 %
Pays les moins avancés	2 %	<1 %	<1 %

Biens d'équipement	Destination		
	OCDE	Économies émergentes	Pays les moins avancés
Origine			
OCDE	55 %	19 %	<1 %
Économies émergentes	14 %	10 %	<1 %
Pays les moins développés	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %

Liens d'IDE	Destination		
	OCDE	Économies émergentes	Pays les moins avancés
Origine			
OCDE	66 %	30 %	1 %
Économies émergentes	2 %	2 %	<0,1 %
Pays les moins avancés	0 %	0 %	0 %

*Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données des bases PATSTAT, COMTRADE et ORBIS. Nous avons utilisé une moyenne des données sur trois ans pour atténuer l'effet des fluctuations annuelles sur le commerce et les brevets*

Le tableau 5 décrit la situation de quelques grandes économies émergentes. En plus des statistiques sur la diffusion de technologies, nous reportons la taille de chaque pays en part du PIB mondial pour permettre une comparaison plus solide. Le tableau montre que le niveau des transferts de technologies vers la Chine, le Mexique et l'Afrique du Sud correspond à la taille de l'économie de chaque pays. D'autres économies émergentes semblent moins intégrées aux flux mondiaux de technologies, notamment la Russie et l'Inde. Les statistiques sur les transferts de technologies à travers le Mécanisme de développement propre disponibles dans certaines études (Dechezleprêtre *et al.*, 2009) confirment ces tendances : la Chine héberge 45 % des

**- Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone -**

projets MDP mondiaux (CDM Pipeline 2013) et 59 % des projets chinois impliquent un transfert de technologies contre 12 % pour les projets localisés en Inde, ou 40 % au Brésil.

Globalement, l'analyse de transfert technologique vers les pays du Sud et la formulation de politiques requièrent donc de distinguer trois groupes de pays en voie de développement :

- la Chine, le Mexique et l'Afrique du Sud : ils apparaissent déjà comme intégrés aux échanges mondiaux de technologies. Dans une moindre mesure, le Brésil est également bien connecté au flux internationaux de connaissances *via* les IDE ;
- la Russie et l'Inde : beaucoup moins de technologies y ont été transférées jusqu'à présent. Elles représentent 3,3 % et 4,9 % du PIB mondial, alors que, selon l'indicateur utilisé, la taille des flux entrants représente entre 1,3 % et 2,2 % pour la Russie et 1,5 % pour l'Inde ;
- les pays les moins avancés : ils reçoivent peu de technologies.

Le tableau fournit également entre parenthèses le pourcentage de diffusion pour toutes les technologies (climatiques et non climatiques). Ces chiffres montrent une situation différente pour les brevets et pour le commerce international<sup>1</sup>. Alors que les transferts mesurés par les brevets sur des technologies climatiques sont plus élevés que la moyenne, le contraire est observé pour le commerce international des biens d'équipement. Cela suggère que les barrières au commerce international exerceraient une influence plus importante que les obstacles liés à la faiblesse ou au coût de la propriété intellectuelle dans le cas spécifique des technologies climatiques.

**Tableau 5 : Flux entrants de brevets, importation de biens d'équipement, investissements directs à l'étranger relatifs à des technologies à faible émission carbone et taille de l'économie dans les pays émergents sélectionnés exprimés en part du total mondial**

Pays	Flux entrants de	Importation de biens d'équipement	Liens d'investissements directs à l'étranger	Taille de l'économie (PIB)
Chine	15,5 % (12,2 %)	8,3 % (15,3 %)	7,1 %	11,1 %
Mexique	2,2 % (1,6 %)	1,7 % (3,0 %)	2,5 %	2,2 %
Russie	1,3 % (0,9 %)	1,4 % (1,8 %)	2,2 %	3,3 %
Afrique du Sud	1,2 % (0,8 %)	0,4 % (0,6 %)	0,9 %	0,7 %
Inde	n/d (n/d)	1,5 % (1,5 %)	1,6 %	4,9 %
Brésil	0,7 % (0,5 %)	0,7 % (1,1 %)	2,5 %	2,9 %

*Source : Données provenant de PATSTAT, COMTRADE et ORBIS. Remarques : Les résultats pour toutes les technologies et les biens d'équipement apparaissent entre parenthèses. Moyenne des flux de brevets vers le pays exprimés en part des flux entrants mondiaux, couvrant 25 catégories technologiques, à l'exception de l'agriculture et de la sylviculture (2007-2009). Moyenne des importations d'équipement à faible émission carbone exprimées en part des importations*

(1) Les données concernant les liens d'IDE ne sont pas disponibles.

*mondiales, couvrant 18 produits/secteurs : hydroélectricité, éolien, solaire photovoltaïque et thermique, nucléaire, stockage d'énergie, véhicules électriques et hybrides, locomotives ferroviaires, ciment, isolation, éclairage, économiseurs, surchauffeurs, appareils de ramonage ou de récupération de gaz (2007-2009). Liens de capitaux entre une compagnie d'origine détenant au moins un brevet relatif à des technologies à faible émission carbone et une compagnie étrangère en 2011 exprimées en part du total mondial*

Le tableau 5 permet également de mesurer l'importance relative des deux principaux canaux de marché pour la diffusion de technologies, les IDE et le commerce de biens d'équipement. Certains pays, comme le Mexique, la Russie et le Brésil, ont tendance à dépendre plus des IDE, ce qui est une bonne nouvelle puisque les investissements directs ont un potentiel de transfert de connaissances plus important, comme expliqué dans la partie 1. Derrière ces données moyennes, il existe en fait une forte hétérogénéité entre secteurs industriels en matière de mécanismes menant aux transferts de technologies.

Dans l'encadré 1, nous l'illustrons en comparant comment les transferts vers la Chine se sont organisés dans les secteurs éoliens et photovoltaïques. Même si le résultat final est similaire – les entreprises chinoises sont devenues leader du secteur en quelques années seulement –, les deux scénarios sont complètement différents. Les entreprises photovoltaïques sont devenues les plus grands exportateurs de cellules et de modules PV après avoir racheté des chaînes de production occidentales « clé en main » et engagé des cadres dirigeants issus de la diaspora chinoise. Les producteurs d'énergie éolienne se sont concentrés eux sur le marché local et ont eu accès à des technologies grâce à des joint-ventures et des concessions de licences avec des producteurs occidentaux et japonais. Cependant, dans les deux cas, la concurrence a joué un rôle extrêmement positif en maintenant les prix bas (sur le marché des biens d'équipement dans le secteur photovoltaïque et sur le marché des concessions de licences dans le secteur éolien).

#### **Encadré 1 : Transferts de technologies vers la Chine dans les secteurs éoliens et photovoltaïques**

En seulement quelques années, la Chine est devenu le leader mondial dans la fabrication des panneaux photovoltaïques et des turbines éoliennes. Après le fabricant danois de turbines éoliennes Vestas, quatre fabricants chinois figuraient dans le top 10 des fabricants en 2011 (dont Sinovel et Goldwind qui étaient classés respectivement au 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> rangs, chacun avec une part du marché mondial d'environ 9 %). Dans le secteur photovoltaïque, leur succès est encore plus impressionnant : la Chine fabrique presque la moitié des panneaux solaires de la planète. Comment les entreprises chinoises ont-elles acquis ces technologies ? Quels sont les facteurs qui peuvent expliquer cette réussite économique ?

Les producteurs chinois de panneaux et de modules photovoltaïques ont acquis les technologies et les compétences nécessaires pour produire des cellules et des modules *via* deux canaux différents : l'achat d'équipements sur un marché international concurrentiel et le recrutement de cadres qualifiés issus de la diaspora chinoise qui ont créé les entreprises photovoltaïques pionnières (de la Tour *et al.*, 2011). Ce développement a été encouragé par la demande étrangère : jusqu'à très récemment, la production des cellules et des panneaux chinois était presque entièrement exportée vers les pays industrialisés.

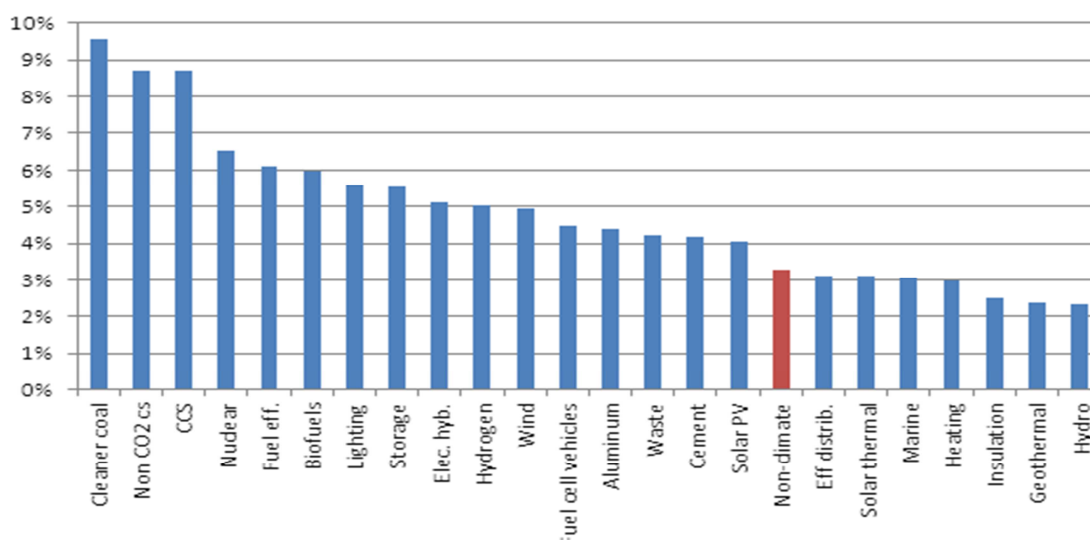
L'industrie éolienne chinoise a suivi une voie très différente, avec un commerce international limité et des entreprises locales produisant des turbines installées en Chine, qui est désormais le plus grand marché mondial (Kirkegaard *et al.*, 2009). La plupart des parcs éoliens chinois sont cependant enregistrés sous le Mécanisme de développement propre, ce qui signifie que la demande chinoise a été (partiellement) financée par des acheteurs étrangers de crédits de réduction d'émissions. Lors des premiers projets, les

turbines ont été fournies par des entreprises localisées dans les pays de l'OCDE, mais des projets plus récents ont recours à des turbines produites localement. Les IDE ont été le mode le plus utilisé (plutôt que le commerce) pour procéder au transfert de technologies. Des accords sur les licences ont également joué un rôle positif important, car la forte concurrence technologique a maintenu les redevances de licences relativement basses.

Pourquoi l'industrie éolienne est-elle si différente de l'industrie photovoltaïque ? Il y a deux raisons principales : la première est technologique. En comparaison avec les modules et les cellules solaires, le transport des équipements éoliens (comme les pâles et les tours) coûte cher. Les investissements directs sont donc nécessaires pour pénétrer les marchés étrangers. La deuxième raison est politique : la Chine a déployé plus d'efforts pour promouvoir des installations locales de turbines, en complétant les financements européens de projets MDP par des plans d'incitation locaux (par exemple, tarifs de rachat), probablement parce que l'énergie éolienne est une source renouvelable beaucoup moins chère que l'énergie photovoltaïque. La réussite de ces entreprises ne se reflète cependant pas dans leur performance en termes d'innovation. Entre 2007 et 2009, les inventeurs chinois n'ont généré, respectivement, qu'environ 5 % et 3 % des inventions photovoltaïques et éoliennes brevetées au niveau mondial.

Le niveau de diffusion vers les pays du Sud varie beaucoup selon les technologies, comme le montre la figure 3 : alors qu'environ 10 % des inventions en lien avec le Captage et le Stockage du Carbone (CSC) ou le charbon plus propre sont protégées dans au moins un pays en voie de développement, le pourcentage n'est que de 2 % pour les technologies hydroélectriques ou relatives à l'isolation thermique et à la géothermie. Nous étudierons dans la prochaine partie si ces chiffres correspondent également au potentiel de réduction des émissions disponible dans les pays en voie de développement. Pour la plupart des technologies, le pourcentage est plus élevé que la moyenne des technologies non climatiques (voir la barre rouge dans la figure 3).

**Figure 3 : Part des inventions internationales déposées dans au moins un pays en voie de développement, par technologie (2007-2009)**

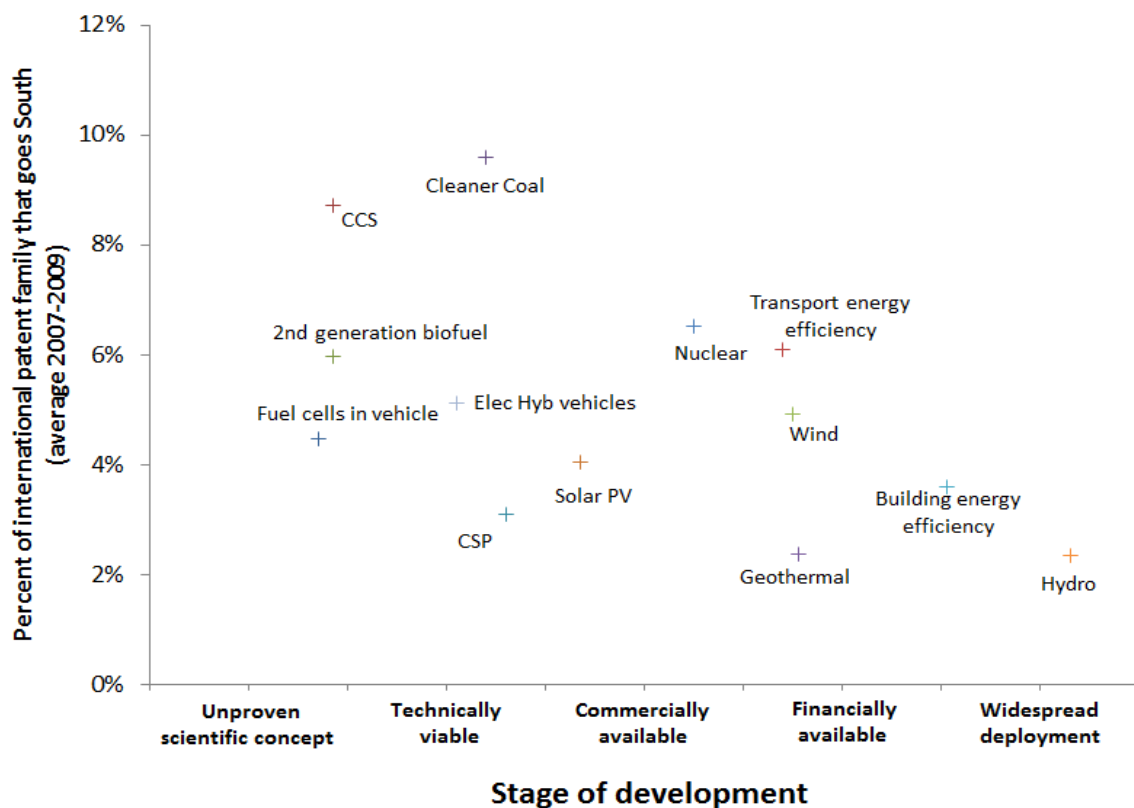


Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT. « Non climatique » correspond à la moyenne de toutes les technologies que nous avons identifiées comme n'étant pas en lien avec le climat.



Les données suggèrent enfin une corrélation négative entre le niveau des transferts de technologies brevetées vers les pays en voie de développement et le degré de développement technologique (figure 4). Cette tendance est surprenante puisqu'elle signifie que les pays en voie de développement sont susceptibles d'attirer davantage les technologies plus avancées que les technologies matures. La faiblesse actuelle des politiques climatiques locales dans les pays du Sud peut être une des explications : elle n'encourage pas le transfert des technologies clé en main à déployer aujourd'hui alors que les technologies les plus avancées sont transférées dans une perspective d'utilisation au cours de la prochaine décennie. Les détenteurs de technologies brevetées semblent anticiper que, d'ici-là, ces politiques auront été mises en œuvre dans les pays du Sud.

**Figure 4 : Inventions internationales brevetées dans les pays en voie de développement en fonction du stade de développement technologique.**



Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT et le World Development Report (2011) pour les stades de développement.

### 3 Quelles technologies transférer et vers quels pays ?

#### 3.1 Approche méthodologique

L'un des objectifs principaux de cette étude est d'émettre des recommandations sur les technologies dont la diffusion est prioritaire et les zones géographiques à cibler. Dans cette partie, nous utilisons un critère de hiérarchisation simple : une technologie doit être privilégiée si :

## - Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone -

- le potentiel de réduction des émissions réalisable à l'aide de cette technologie dans le pays récepteur est élevé (le montant des réductions d'émissions que la technologie peut réaliser à un prix abordable) ;
- le transfert est aujourd'hui limité.

De manière similaire, les pays prioritaires sont ceux qui disposent des transferts les plus limités aujourd'hui, mais qui sont dotés d'un fort potentiel de réduction.

Le choix de ce critère résulte du point de vue relativement étroit adopté dans notre rapport. Nous considérons que l'objectif d'une politique climatique est de maximiser l'atténuation du changement climatique au niveau mondial et nous cherchons le moyen le plus efficace d'y parvenir. Nous avons donc exclu tout critère économique général, comme les aspects relatifs à l'économie et au développement des pays récepteurs ; aux cobénéfices des transferts de technologies et aux aspects distributifs entre les pays, qui, en pratique, exercent une influence importante sur l'acceptabilité politique des pays d'origine et des pays récepteurs.

Nous utilisons deux sources principales pour mesurer la réduction potentielle : la courbe mondiale de réduction de gaz à effet de serre de McKinsey qui décrit le potentiel de réduction d'ici 2030 à un coût de moins de 80 USD /tCO<sub>2</sub> et l'*Energy Technology Perspectives 2012* de l'agence internationale de l'énergie. Pour calculer les réductions d'émissions, nous avons comparé les scénarios 2DS et 6DS<sup>1</sup>.

Il est important de souligner que, si la question est similaire, notre approche est très différente de celle des évaluations des besoins technologiques (« *Technology Needs Assessment* », TNA) encouragée par la Convention-Cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Les TNA sont des évaluations de type « *bottom-up* » effectuées par chaque pays en voie de développement afin de déterminer ses besoins en technologies bas carbone<sup>2</sup>. Soixante-dix pays ont désormais publié leur évaluation, la plupart d'entre eux font partie des pays les moins avancés.

D'un point de vue méthodologique<sup>3</sup>, notre approche diffère pour trois raisons : la première est que nous ne couvrons pas l'ensemble des critères listés dans les directives des EBT. Nous ne prenons notamment pas en compte les cobénéfices économiques et de développement des transferts technologiques. Le niveau d'analyse est également différent. Les TNA examinent les technologies prioritaires dans un pays donné. Nous considérons les technologies au niveau mondial et nous regardons les pays prioritaires pour l'ensemble des technologies. La dernière différence est de nature procédurale. Les TNA sont le résultat de processus consultatifs impliquant les parties intéressées et le processus en lui-même est probablement aussi important que le résultat puisqu'il implique des acteurs supposés jouer un rôle important dans la mise en œuvre des recommandations des TNA.

---

(1) Voir l'annexe 7 pour plus de détails.

(2) Pour plus d'informations, consultez : <http://unfccc.int/ttclear/pages/home.html>

(3) Trois documents de référence donnent des instructions précises sur la façon de procéder à cet exercice (UNDP/ UNFCCC, 2010 ; Gross *et al.*, 2004 ; ClimateTechnology Initiative, 2002).

### 3.2 Les technologies prioritaires au niveau mondial

Nous avons disposé les technologies climatiques dans la figure 5 avec un axe horizontal qui correspond à la quantité d'émissions qui peut être réduite dans le monde d'ici 2050 grâce à la technologie et un axe vertical qui représente la part des inventions brevetées dans au moins deux pays<sup>1</sup> pour la même technologie. Soulignons que la figure 5 ne décrit pas le cas spécifique des pays en voie de développement, puisque les données sur le potentiel de réduction dans les pays du Sud au niveau technologique ne sont pas disponibles.

Le graphique montre une corrélation positive qui suggère que plus le potentiel de réduction grâce à la technologie est important, plus sa diffusion internationale est importante. En utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO), nous avons été capables d'estimer une droite qui représente le mieux la relation entre les deux variables. Nous avons obtenu la fonction suivante, décrite dans la figure 5 :

$$\text{Part de brevets internationaux} = 0,1878 * \log \text{CO}_2 \text{ évités} - 0,3615$$

Cette droite fournit une référence permettant de juger en relatif les différentes technologies. Celles qui se trouvent sous la droite sont prioritaires puisque, par rapport à la moyenne, ce sont celles présentant à la fois un potentiel de réduction important et un faible niveau de transfert en relatif<sup>2</sup> :

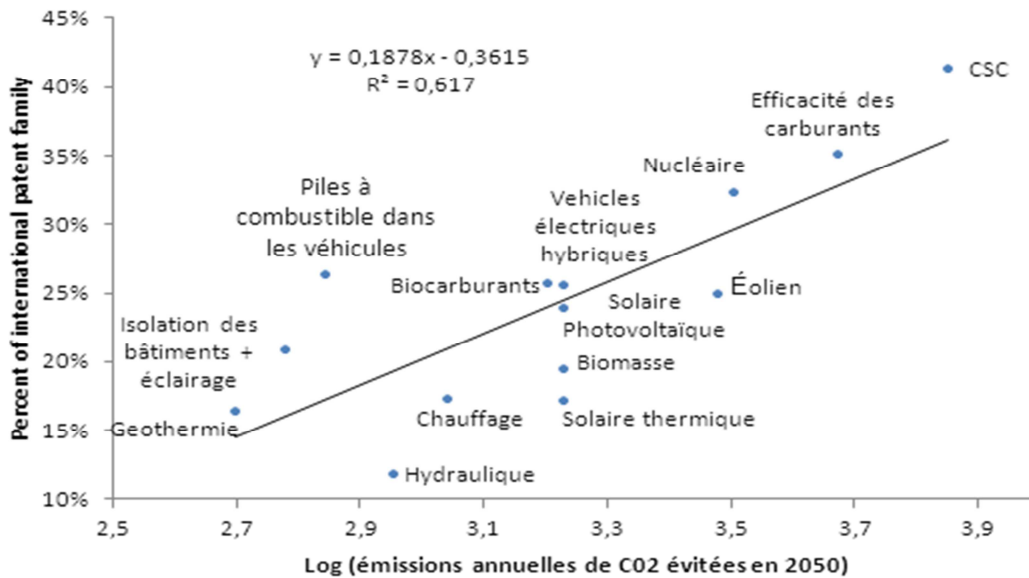
- l'énergie hydraulique (centrales hydroélectriques, turbines hydrauliques, unités submergées intégrant des générateurs électriques, appareils de contrôle des turbines hydrauliques) ;
- équipement de chauffage des bâtiments (système de chauffage centralisé de l'eau et de l'air utilisant des pompes à chaleurs ; système de récupération d'énergie dans la climatisation, la ventilation ou la filtration : pompes à chaleur) ;
- technologies solaires thermiques (utilisation de la chaleur solaire pour chauffer et refroidir) ;
- biomasse (combustibles solides basés sur des matériaux d'origine végétale, dont les déchets) ;
- énergie éolienne ;
- énergie solaire photovoltaïque.

---

(1) Dans la figure 5, nous avons seulement utilisé l'indicateur basé sur les brevets puisque la comparaison de technologies différentes requiert une normalisation : le nombre de familles de brevets internationaux doit être divisé par le nombre total de familles. La création d'un ratio similaire pour les indicateurs des IDE et du commerce international n'est pas réalisable puisque les informations sur le nombre de liens d'investissements locaux et le volume de commerce intérieur d'équipement à faible émission ne sont pas disponibles.

(2) Veuillez noter que cette stratégie est basée sur une évaluation des performances : la priorité doit être donnée aux secteurs technologiques dotés d'un fort potentiel de réduction *par rapport* aux autres technologies. Cependant, il est important de garder en mémoire que, en terme absolu, le niveau de diffusion peut être trop bas, même dans les technologies dotées d'un fort potentiel en terme relatif.

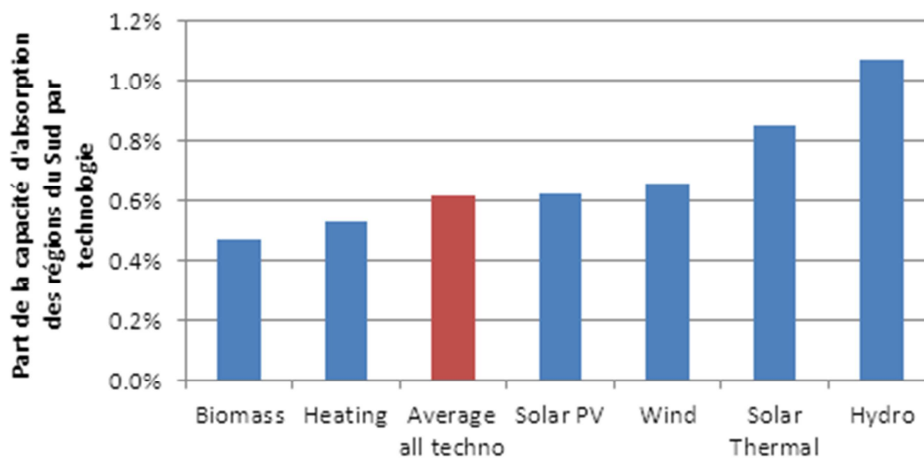
Figure 5 : Potentiel de réduction et part des inventions internationales, par technologie (2007-2009)



Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT et ETP 2012 décrivant le potentiel de réduction d'ici 2050 dans le scénario 2DS en comparaison avec le 6DS (ETP, 2012, p. 480, tableau 15.1). Solaire PV = Solaire photovoltaïque ; CSC = Captage et stockage du carbone. La ligne droite est estimée grâce à la méthode des MCO ( $R^2 = 0,617$ )

Les pays du Sud ont-ils alors les capacités nécessaires pour adopter et utiliser ces technologies prioritaires ? Comme indiqué dans la partie 2.1, un indicateur usuel des capacités d'absorption d'une technologie donnée est le stock d'inventions brevetées développées par des inventeurs locaux dans cette technologie. La figure 6 compare les capacités d'absorption mesurées avec cet indicateur des six technologies prioritaires avec la capacité moyenne de toutes les technologies climatiques. Le graphique montre que plus d'efforts devraient être réalisés pour améliorer les capacités relatives aux technologies de biomasse et de chauffage.

Figure 6 : Capacités d'absorption des technologies prioritaires des pays du Sud



Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT

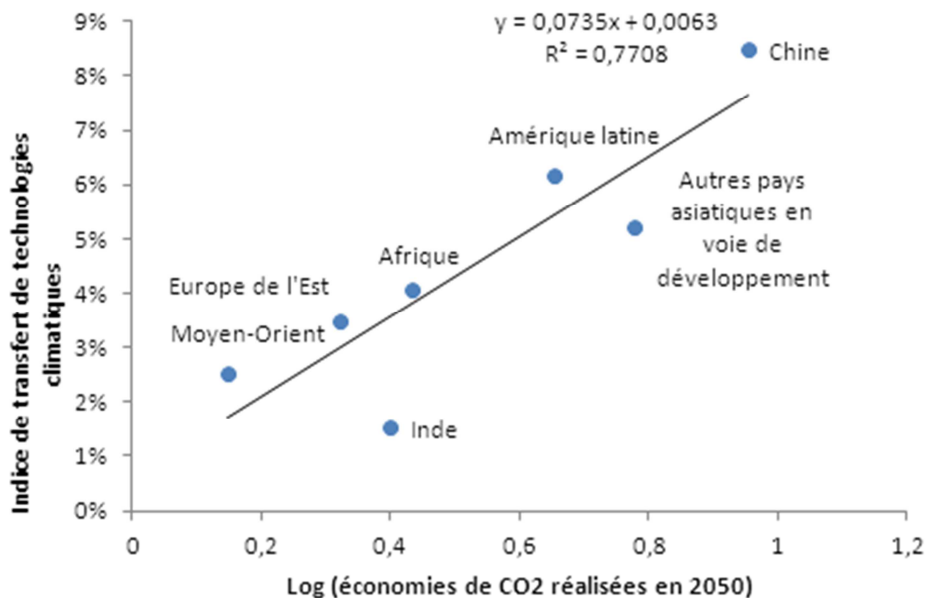
### 3.3 Les zones géographiques prioritaires dans les pays en voie de développement

Comme pour les technologies, la figure 7 montre une corrélation positive entre la diffusion des technologies dans différentes zones géographiques<sup>1</sup> et la distribution géographique du potentiel de réduction : le volume des importations de technologies est plus élevé dans les pays dotés d'un fort potentiel de réduction. En ayant recours à la méthode des MCO, la relation entre la taille des transferts et celle du potentiel de réduction est décrite par l'équation suivante :

$$\text{indice de transfert} = 0,0735 \star \log CO_2 \text{ évités} - 0,0063$$

La figure 7 indique les régions prioritaires qui sont représentées sous la droite de régression : l'Inde et le reste de l'Asie en voie de développement. L'Afrique, qui est très proche de la droite de régression, peut également être incluse. La figure 8 montre que ces trois régions ont également besoin de capacités d'absorption technologiques renforcées.

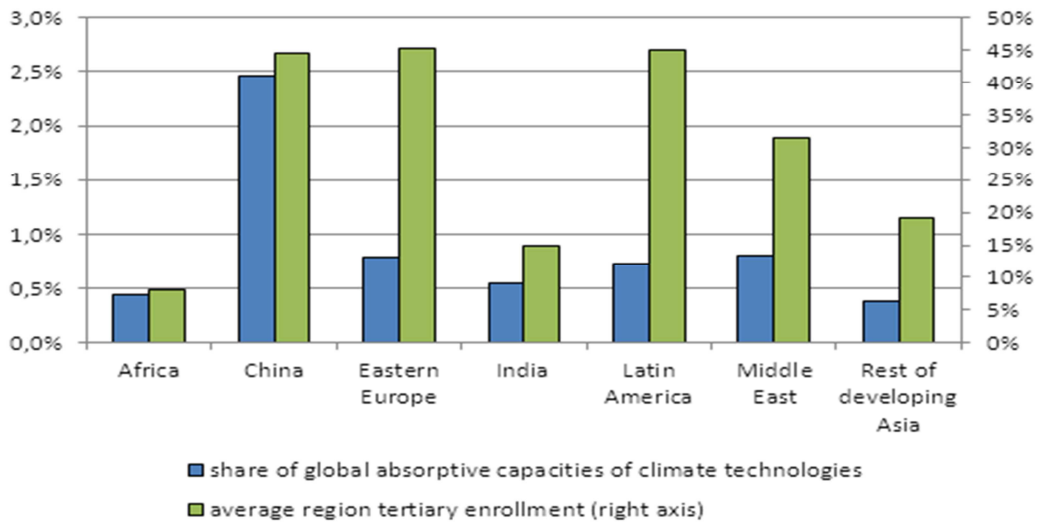
Figure 7 : Potentiel de réduction et indice de transfert de technologies, par technologie (2007-2009), par région



Source : Les calculs des auteurs sont basés sur McKinsey(2010), les données des bases PATSTAT, COMTRADE et ORBIS. La ligne droite est estimée grâce à la méthode des MCO ( $R^2 = 0,7708$ ). L'indice de transfert de technologies est la moyenne de la part des importations dans la région via les transactions commerciales et les IDE. L'indicateur de brevet n'est pas utilisé, les données n'étant pas disponibles pour l'Inde

(1) À la différence de la figure 7, l'indice de diffusion des technologies utilise la moyenne de deux indicateurs (liens d'IDE et importations de biens d'équipement à faible émission carbone). Nous n'utilisons pas l'indicateur « brevets », car les données ne sont pas disponibles pour l'Inde.

Figure 8 : Capacités d'absorption dans les pays en voie de développement comme part des capacités mondiales



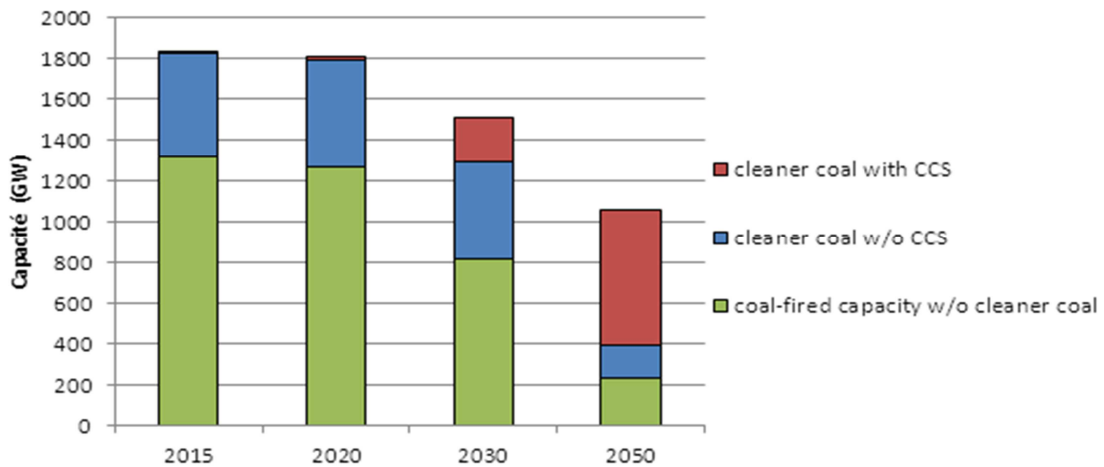
Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT et de la Banque mondiale. Pour chaque région, nous avons calculé le pourcentage moyen de stocks de brevets relatifs à des technologies localisés dans la région et le taux moyen d'accessibilité à l'enseignement supérieur dans les pays de ces régions. La liste des pays par région est mentionnée dans l'annexe 6

### 3.4 Étude de cas : la production d'électricité des centrales au charbon

L'analyse ci-dessus donne un aperçu général pour chaque technologie sans tenir compte des spécificités de chaque pays (sous-partie 3.2), ou par région géographique réceptrice sans distinguer les différentes technologies (sous-section 3.3). Dans cette partie, nous avons poussé notre analyse plus loin en examinant les priorités géographiques relatives à deux technologies spécifiques. Ces technologies ont pour objectif de réduire les émissions générées lors de la production d'électricité des centrales au charbon : la capture et le stockage du CO<sub>2</sub> et le charbon plus propre – des technologies telles que la gazéification du charbon, des brûleurs améliorés, la combustion en lit fluidisé, l'amélioration des machines à vapeur, des surchauffeurs améliorant l'efficacité énergétique et limitant les émissions polluantes.

La production d'électricité des centrales à charbon est cruciale, car elle représente un potentiel de réduction des émissions considérable. Par exemple, l'Agence internationale de l'énergie estime que le secteur du charbon représenterait environ 20 % du total des réductions requises dans le scénario 2DS qui décrit un système énergétique en cohérence avec une trajectoire d'émissions qui permettrait avec une probabilité de 80 % de limiter l'augmentation de la température mondiale moyenne de 2°C (Voir l'annexe 7 pour plus de détails). La figure 9 décrit les capacités de production installées en accord avec cette trajectoire. Elle montre que, d'ici 2030, les besoins en technologies concerneront surtout le charbon plus propre. Seul l'ajout de CSC peut permettre d'atteindre les objectifs fixés en termes de réduction d'émissions après 2030. Les usines équipées de dispositifs de CSC se reposeront également sur les technologies de charbon plus propre. En effet, une efficacité thermique élevée est nécessaire afin de réduire les pénalités énergétiques résultant de l'installation des équipements de captage de carbone.

**Figure 9 : Évolution des capacités de production d'électricité alimentée au charbon selon le scénario de 2°C (2DS)**



Source : IEA (2012) *Technology Roadmap : High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation*

La figure 10a montre les capacités installées des technologies de charbon plus propre dans les pays en voie de développement, selon le scénario 2DS en fonction du niveau de transfert de technologies mesuré par la part mondiale des liens d'IDE. C'est le seul indicateur de transfert de technologies disponible pour l'exemple donné (tous les pays en voie de développement et les technologies de charbon plus propre). Le graphique suggère que, à court ou moyen terme, l'Inde et l'Afrique du Sud sont les deux cibles prioritaires en matière de transfert de technologies de charbon plus propre.

La figure 10b est similaire, sauf qu'elle inclut en plus le CSC, dont l'essentiel des capacités sera installé après 2030. En plus de l'Inde et de l'Afrique du Sud, la liste des pays prioritaires comprend également la Chine.

**Figure 10a : Capacités de production d'électricité par centrale à charbon plus propre sans CSC et indice de transfert de technologie, par région du monde en développement**

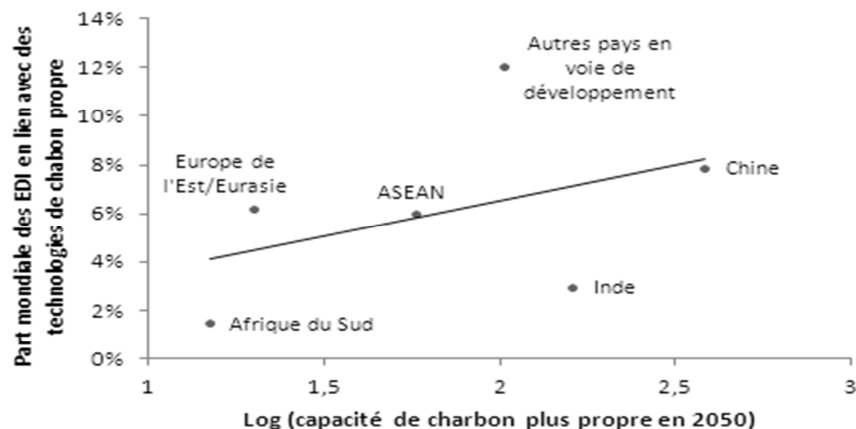
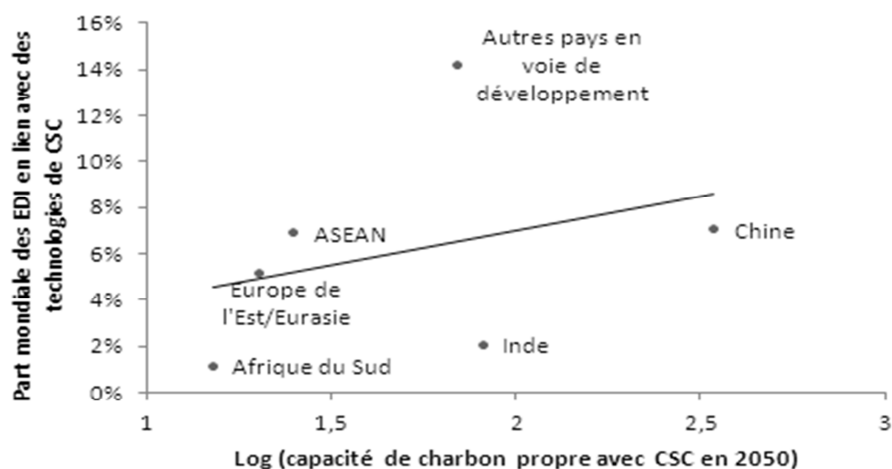


Figure 10b : Capacités de production d'électricité par centrale à charbon plus propre avec CSC et indice de transfert de technologie, par région du monde en développement



Source : IEA (2012) *Technology Roadmap: High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation for capacities*. Les calculs des auteurs sont basés sur les données des bases PATSTAT et ORBIS pour les liens d'IDE. Les autres pays en voie de développement incluent 76 pays tels que le Brésil, Taïwan, l'Argentine et le Venezuela

## 4 Quels instruments politiques ?

Dans cette partie, nous passons en revue et analysons les différents instruments politiques disponibles pour promouvoir les transferts internationaux de connaissances relatifs aux technologies à basse émission carbone. Nous prenons en compte aussi bien le rôle joué par les politiques économiques générales qui touchent toutes les technologies (telles que le droit de la propriété intellectuelle, les politiques relatives au commerce international et aux IDE, ou le renforcement de la capacité technologique) que les instruments conçus spécifiquement pour les technologies climatiques (mécanismes de projet, le Mécanisme technologique, etc.).

La CNUCC a développé la notion « d'Environnement propice » (*«Enabling environment»*) pour décrire les conditions et politiques gouvernementales qui créent et maintiennent un environnement macroéconomique favorable à l'innovation et à la diffusion de technologies. L'objectif de cette partie est d'identifier et d'évaluer les éléments constitutifs d'un environnement propice. Cet examen est essentiellement basé sur la littérature économique relative à la diffusion de technologies qui fournit de nombreux résultats sur ce sujet.

### 4.1 Politiques de réduction des GES comme condition préalable

Créer une demande pour les technologies à faible émission carbone à travers des politiques ciblant directement l'atténuation du changement climatique est une condition préalable au transfert de technologies. En effet, réduire les émissions n'est généralement pas rentable dans les conditions habituelles de marché. En l'absence de politique publique incitative imposant des contraintes sur les émissions, il est donc



peu probable que les ménages et les entreprises adoptent des technologies climatiques.

Il s'agit probablement là du message le plus important de cette section sur les instruments politiques. L'augmentation de la diffusion des technologies vers les pays du Sud ne peut avoir lieu qu'avec la mise en place de politiques climatiques ambitieuses (par exemple, taxes carbone, systèmes de plafonnement et d'échanges de droits d'émission de gaz à effet de serre, normes d'émissions).

La demande de technologies climatiques dans les pays en voie de développement peut être créée localement par le biais de politiques internes. Cette thèse est soutenue par plusieurs études économétriques. Lanjouw et Mody (1996) ont montré que la régulation stricte des émissions des véhicules aux États-Unis a conduit au transfert de technologies plus modernes depuis le Japon et l'Allemagne vers les États-Unis. Popp *et al.*, (2007) ont étudié le cas de la technologie sans chlore dans l'industrie papetière : ils observent une augmentation du nombre de brevets déposés par des inventeurs américains en Finlande et en Suède après la mise en place de réglementations plus strictes dans ces pays. Dekker *et al.*, (2012) ont analysé l'impact de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance sur l'innovation et le transfert des technologies. Ils montrent que les pays signataires ont bénéficié d'une augmentation du nombre de brevets étrangers et de l'innovation locale.

Dans ce contexte de mondialisation, les politiques nationales semblent être un facteur nécessaire mais non suffisant pour favoriser le transfert des technologies. Les sociétés basées dans les pays émergents peuvent également importer des technologies dans le but de répondre à une demande étrangère stimulée par des politiques environnementales mises en œuvre dans les pays occidentaux. L'industrie photovoltaïque en est une bonne illustration. Les entreprises chinoises du secteur ont acquis les technologies nécessaires à l'étranger avant d'exporter ensuite des cellules photovoltaïques et des panneaux solaires dans des pays comme l'Allemagne, l'Espagne et les États-Unis où des tarifs de rachat et des portefeuilles de normes en matière d'énergie renouvelable ont provoqué des installations massives de capacités de production photovoltaïques. Dans une étude économétrique, Peters *et al.*, (2012) arrivent à la conclusion que les politiques nationales de stimulation de la demande dans le secteur photovoltaïque solaire créent de l'innovation dans les pays étrangers (alors que les politiques de type « *technology-push* » n'obtiennent pas ce résultat), et suggèrent ainsi que les politiques nationales environnementales pourraient également stimuler l'innovation à l'étranger. D'autres études économétriques (Dechezleprêtre et Glachant, 2011; Berthelemy, 2012) arrivent aux mêmes résultats concernant les industries éoliennes et nucléaires.

Cependant, les études empiriques suggèrent un autre avantage des politiques nationales de stimulation de la demande : outre les transferts entrants de technologies *via* les fabricants étrangers, elles renforcent également les capacités technologiques nationales. La promotion de l'innovation est un élément crucial pour le transfert des technologies puisqu'elle augmente les capacités d'absorption des technologies étrangères qui, une fois importées, se diffusent au sein de l'économie locale. À long terme, cela prépare aussi le pays à exporter des technologies. Des preuves solides démontrent que les politiques environnementales nationales génèrent des innovations vertes. Brunnermeier et Cohen (2003) montrent, par exemple, que les dépenses de protection de l'environnement ont un impact positif sur le nombre de brevets en lien

avec l'environnement<sup>1</sup>. D'autres études démontrent que des prix énergétiques élevés stimulent l'innovation dans les technologies à haute efficacité énergétique (Newell *et al.*, 1999; Popp, 2002 ; Crabb et Johnson, 2010), ce qui laisse penser que les instruments de marché, tels que les taxes ou les systèmes de plafonnement et d'échanges de droits d'émission de gaz à effet de serre, ont le même effet.

Réduire la pollution au niveau national présente également l'avantage de pouvoir récolter les bénéfices des méthodes d'apprentissage par la pratique ou « *learning by doing* ». Il est désormais connu depuis des années que l'innovation ne provient pas uniquement de la recherche dans les laboratoires, mais également de l'utilisation même des technologies sur le terrain (grâce à l'accumulation d'expérience, les économies d'échelle, etc.).

## 4.2 Renforcement de la capacité d'absorption des technologies

Comme l'expliquent Blomström *et al.* (1994), « le taux de la croissance économique d'un pays en retard [...] dépend de l'importance de ses activités de transferts de technologies provenant de pays leaders et de l'efficacité avec laquelle elles sont absorbées et diffusées ». Plusieurs facteurs (la disponibilité de personnel technique qualifié, l'information sur les technologies disponibles, les institutions sociales réduisant les coûts de transaction) déterminent cette capacité à absorber avec succès les technologies étrangères. On fait généralement référence à la capacité d'absorption d'un pays (Fagerberg, 1994 ; Keller, 1996 ; Worrell *et al.*, 1997 ; Griffith *et al.*, 2004 ; Kneller & Stevens, 2006).

Il existe de nombreuses preuves dans la littérature sur le commerce international que les capacités d'absorption des pays récepteurs sont une condition sine qua non des transferts transfrontaliers de technologies avancées (Keller, 2004). Eaton et Kortum (1996) montrent, par exemple, que les pays ayant de fortes capacités d'absorption, tels le Japon et les pays européens membres de l'OCDE, tirent de la R&D réalisée à l'étranger la quasi-totalité de leurs gains de productivité. Les capacités d'absorption facilitent également la diffusion locale de connaissances provenant du commerce international et des IDE et élargissent ainsi la diffusion de ces connaissances au sein même du pays récepteur. Borensztein *et al.*, (1998) observent par exemple que les IDE ont un impact plus important sur la croissance économique que les investissements nationaux, à condition que le pays d'accueil dispose suffisamment de capital humain. De la même façon, le flux des technologies avancées associées aux IDE augmente d'autant plus le taux de croissance des économies d'accueil que leur capacité d'absorption est importante (Keller, 2004). Ces études générales ont été confirmées par d'autres études s'intéressant particulièrement aux technologies à basse émission de carbone (par exemple, Dechezleprêtre *et al.*, 2013, Verdolini et Galeotti, 2011).

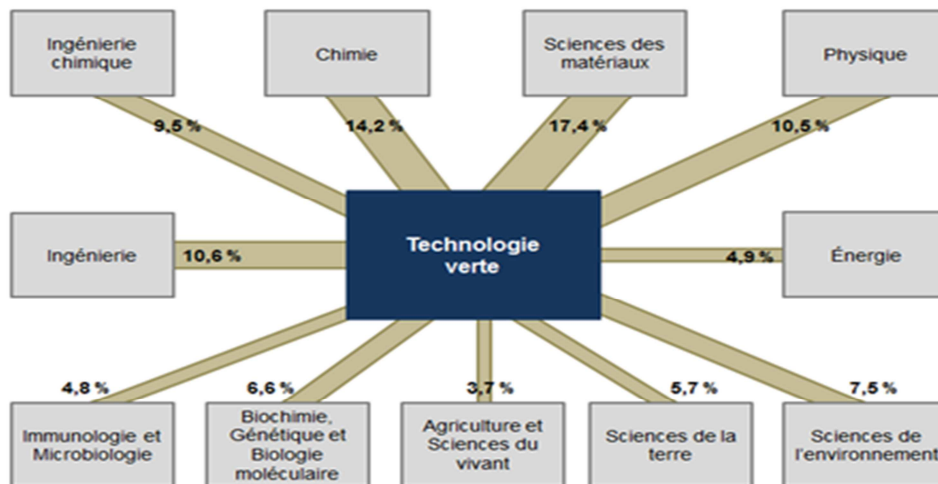
Soutenir les pays en voie de développement pour renforcer leurs capacités d'absorption technologique devrait ainsi être prioritaire. Ce soutien peut s'effectuer par différents moyens, dont la coopération dans la recherche et les programmes de développement et de démonstration. Comme le montre la figure 11, les technologies vertes sont issues de connaissances scientifiques provenant de plusieurs domaines scientifiques, parmi lesquels les sciences de l'énergie et de l'environnement ne

---

(1) Pollution Abatement Control Expenditures.

représentent qu'environ 12 %. Cela signifie qu'encourager l'enseignement et la formation dans les domaines technologiques pointus pourrait être moins crucial que le soutien à des programmes génériques plus vastes. Prenons comme illustration les entreprises chinoises photovoltaïques qui ont beaucoup profité de la diffusion de connaissances provenant de l'industrie des semi-conducteurs, un secteur qui n'a, au premier abord, pas grand-chose à voir avec le changement climatique.

**Figure 11 : Lien entre innovation et sciences dans les technologies vertes (2000-2007)**



Source : *Measuring Innovation: A New Perspective*, OCDE (2010)

### 4.3 Droits de propriété intellectuelle

Le fait qu'un régime de propriété intellectuelle plus strict favorise le transfert des technologies d'atténuation du changement climatique vers les pays en voie de développement est un point controversé dans le cadre des discussions internationales. Des arguments sérieux arrivent pourtant à des conclusions contraires :

- le DPI est un droit de propriété et l'existence du droit de propriété est une condition requise pour l'émergence de marchés permettant la diffusion des technologies *via* les différents acteurs du marché ;
- le DPI confère l'exclusivité juridique aux inventeurs pour une période de vingt ans. Si la technologie n'a pas de substitut efficace et fiable, l'inventeur peut alors utiliser son pouvoir de marché pour imposer des prix élevés et rationner ainsi la diffusion de la technologie elle-même ou la distribution de biens dans lesquels elle est intégrée ;
- en échange de cette exclusivité juridique, le dépôt de brevet requiert de l'inventeur qu'il divulgue publiquement des informations sur la technologie. Cette publication engendre une diffusion positive de connaissances puisque d'autres inventeurs pourront ensuite s'en inspirer pour développer de nouvelles technologies. Cette caractéristique du DPI est en contradiction totale avec les autres outils d'appropriation utilisés par les innovateurs pour garder le contrôle sur leurs technologies, comme le secret, qui ralentit généralement la diffusion des connaissances.

En conséquence, il n'y a pas de réponse arrêtée fondée sur des arguments théoriques sur le fait que le DPI encourage la diffusion des technologies ou non. Il est donc nécessaire de s'appuyer sur des études empiriques ayant testé les différentes hypothèses. Les études générales ne traitant pas particulièrement des technologies climatiques suggèrent qu'un DPI strict a un impact positif sur le volume de transfert de technologies étrangères vers les pays en voie de développement. Cet impact est très clair quand le pays récepteur est avancé d'un point de vue technologique et qu'il est ouvert au commerce international (Sampath et Roffe, 2012). Dans ce cas, des capacités d'absorption locales importantes permettent des transferts efficaces, mais créent également une menace d'imitation importante pour les innovateurs étrangers (Maskus, 2000 ; Smith, 2001 ; Hoekman, Maskus, et Saggi, 2005 ; Mancusi, 2008 ; Parello, 2008). Parce qu'il représente une protection contre d'éventuelles imitations, un DPI très strict facilite les transferts de technologies dans les pays récepteurs. Il existe également des preuves empiriques qu'un DPI strict favorise l'utilisation de canaux plus riches en connaissances, tels que les IDE et les concessions de licence, par rapport à la simple exportation de biens d'équipement (Smith, 2001).

Puisque l'effet positif du DPI dépend de l'existence d'une menace d'imitation par les firmes locales, il concerne principalement les pays récepteurs disposant déjà de capacités technologiques, comme les pays émergents. En revanche, une protection plus forte des DPI peut ne pas entraîner de transfert dans les pays qui manquent de telles capacités (puisque dans ce cas, la menace d'imitation n'est pas assez grande pour dissuader les entreprises étrangères) et pourrait générer des rentes de monopole plus importantes en faveur des sociétés étrangères (Maskus, 2000 ; Smith, 2001).

Quelques études confirment ce point de vue dans le cas spécifique des technologies pro-climat. Par exemple, Dechezleprêtre *et al.*, (2013) montrent que des lois de propriété intellectuelle laxistes ont un impact négatif sur les flux entrants de brevets étrangers pour de nombreux types de technologies climatiques. L'impact est plus fort que dans le cas de barrières commerciales ou d'IDE : sur une échelle commune de 1 à 10, des DPI plus stricts d'un point augmentent le taux de transferts de brevets de 27 %-60 %, alors qu'abaisser les barrières commerciales d'un point engendre 7 %-15 % de transferts de brevets supplémentaires. Enfin, assouplir les barrières d'un point en termes d'IDE augmente le flux des brevets de 4,5 %-8 %.

Des études de cas suggèrent en outre que le DPI n'élimine pas la concurrence sur les marchés des technologies environnementales : Barton (2007) montre que le brevet n'a jusqu'à présent jamais représenté un obstacle au transfert de technologies relatives aux biocarburants et aux énergies solaires photovoltaïques et éoliennes vers les économies émergentes. Ce résultat est confirmé par d'autres papiers : voir en particulier les analyses de la filière éolienne par Kirkegaard *et al.*, (2009), celle du secteur photovoltaïque par Dechezleprêtre *et al.*, (2011) et l'étude du transfert du cycle combiné à gazéification intégrée, la technologie la plus efficace pour la production d'électricité par les centrales alimentées au charbon, vers l'Inde (Ockwell *et al.*, 2008).

Ces résultats sont influencés par le fait que les technologies climatiques existent la plupart du temps dans des secteurs matures où de nombreux substituts peuvent se concurrencer au niveau mondial. À cet égard, la situation des technologies à faible émission carbone n'est pas comparable aujourd'hui avec celle de l'industrie pharmaceutique où il n'existe pas de substitut pour certains médicaments, ou avec la situation du secteur des technologies de l'information (TI) dans lequel les problèmes

de complémentarité technique ou de compatibilité peuvent mener à des situations dites de « buissons de brevets » (ou « *patent thickets* », Shapiro, 2001). On ne peut cependant pas exclure que la découverte d'innovations dites de « rupture » dans des domaines technologiques, tels que le CSC, les *smart grids* ou les biocarburants puisse à l'avenir orienter le secteur vers les modèles des industries pharmaceutiques ou des TI.

L'inconvénient principal du système de brevet est qu'il s'agit d'une approche uniforme : même si elle s'applique à des technologies et des secteurs très différents, les règles sont les mêmes (par exemple, la durée est la même). L'encadré 2 recense et discute les diverses solutions mises en avant pour rendre les lois sur les brevets plus flexibles pour les technologies climatiques.

**Encadré 2 : Instruments de propriété intellectuelle spécifiques  
aux technologies climatiques (Maskus, 2010)**

De nombreuses propositions ont été faites pour rendre les lois en matière de PI plus flexibles pour les technologies climatiques et/ou pour promouvoir des instruments de PI spécifiques permettant d'augmenter la diffusion des connaissances dans les pays en voie de développement. Ces propositions ont été passées en revue de façon détaillée dans une récente étude de l'OCDE réalisée par Keith Maskus (2010). En voici les principales conclusions.

**1) Exclusions de brevetabilité.** Cette option a été suggérée par certains pays en voie de développement pour faciliter l'accès aux inventions climatiques. Cependant, elle serait probablement contre-productive car la suppression des brevets supprimerait les incitations à l'innovation et, par conséquent, à diffuser la technologie à travers les canaux de marché. L'exclusion de brevetabilité empêcherait également les diffusions de connaissances (*knowledge spillovers*) permises par la divulgation des brevets. Enfin, la suppression des brevets ne faciliterait pas la diffusion du savoir-faire, qui représente généralement un complément nécessaire aux inventions brevetées.

**2) Concession de licence obligatoire.** Cette option s'inspire des flexibilités de l'accord ADPIC<sup>1</sup> permettant aux pays d'imposer de façon unilatérale le transfert d'inventions brevetées selon certaines conditions (listées dans l'article 31). Il est peu probable que cela engendre des résultats significatifs dans le cas des technologies climatiques. Cela est compliqué à mettre en place et requiert une capacité locale suffisamment importante pour produire la technologie sous licence. De plus, la concession de licence obligatoire ne donne pas accès au savoir-faire requis pour l'utilisation effective de la plupart des technologies climatiques et peut, au contraire, dissuader un inventeur étranger de transférer ces connaissances *via* des IDE par exemple.

**3) Politique de concurrence.** Puisque les brevets ne représentent pas un obstacle important au transfert dans le domaine des technologies climatiques, Maskus (2010) suggère que la mise en place de garde-fous antitrust pour contrer de potentiels abus pourrait être plus efficace que des mesures drastiques telles que les exemptions de brevets pour les concessions de licence obligatoires. Cela implique qu'il faut en priorité investir dans le renforcement des capacités (*capacity building*) et dans la formation des autorités antitrust dans des pays en voie de développement ciblés.

**4) Cartographie des brevets.** Les bases de données de brevets et les récents logiciels de cartographie des brevets représentent une source considérable d'information sur les technologies disponibles dans un domaine précis pour trouver l'inspiration pour

(1) L'Accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce (ADPIC) est un accord international géré par l'organisation mondiale du commerce (OMC) qui fixe des règles minimales dans le cas de différentes formes de Propriété Intellectuelle (PI) appliquée au niveau national ou aux autres membres de l'OMC.

des projets de R&D (*spillovers*), identifier les potentiels brevets bloquants ou acheter des technologies existantes. Cependant, l'utilisation de ces logiciels et de ces bases de données est complexe, coûteuse et requiert un savoir-faire spécifique. Développer de tels outils et les rendre accessibles à un large public pourrait donc représenter une étape importante pour promouvoir la circulation des connaissances dans les technologies climatiques.

**5) *Patent pools volontaires.*** Cette option consiste à inviter des entreprises, des universités et des instituts de recherche à regrouper leurs brevets relatifs à une technologie particulière en un seul paquet de brevets (*patent pool*) dans le but de proposer aux utilisateurs une licence unique et donc de réduire à la fois les coûts de transaction et le cumul de taux de redevance. Puisque ces *patent pools* n'ont de sens que pour des technologies incluant un grand nombre d'éléments brevetés (typiquement dans les secteurs de l'électronique et des technologies de l'information), nous ne savons pas encore à quel type de technologie climatique ils pourraient s'appliquer, à l'exception peut-être des nouvelles technologies émergentes basées sur les biotechnologies et les carburants synthétiques. Une autre difficulté réside dans le fait que les inventeurs privés sont souvent réticents à inclure leur brevet au sein d'un *patent pool*. La plate-forme Eco-Patent Commons lancée par IBM, Nokia, Pitney Bowes et Sony pourrait être vue comme un contre-exemple, mais une étude récente montre qu'elle comprend 238 brevets de faible valeur (Hall et Helmers, 2011). Cependant, le regroupement de brevets provenant des universités et des instituts de recherche publics pourrait représenter un levier puissant pour promouvoir le développement et la diffusion des technologies émergentes clés.

#### 4.4 Barrières aux échanges commerciaux et aux investissements directs à l'étranger

Comme expliqué précédemment, les transferts de technologies internationales ont lieu à travers des canaux de marché tels que le commerce international ou les IDE. En conséquence, les transferts se développent plus facilement dans le cadre d'économies ouvertes (Saggi, 2002 ; Hoekman *et al.*, 2005). Le libre-échange a également pour effet d'accroître la concurrence et de supprimer les activités de recherche de rente peu productives (voir Keesing, 1967 ; Bhagwati et Krueger, 1973 ; Krueger, 1974 ; Bhagwati, 1982) et renforce ainsi l'efficacité et la capacité d'absorption des pays récepteurs (Henry *et al.*, 2009).

Par conséquent, l'abaissement des barrières au commerce international et aux IDE est un levier de politique économique efficace pour encourager le transfert des technologies d'atténuation du changement climatique. Duke, Jacobson et Kammen (2002) montrent, par exemple, que la baisse des barrières tarifaires sur les modules solaires au Kenya a entraîné une hausse des importations de systèmes photovoltaïques. Concernant les IDE, les données suggèrent que les investissements étrangers sont favorisés lorsque l'environnement économique est adéquat, c'est-à-dire qu'il implique l'existence d'une gouvernance et d'institutions économiques (Maskus, 2004). Dechezleprêtre *et al.*, (2013) montrent ainsi que des barrières à l'échange (droit de douane) et aux IDE (obligation qu'une partie de l'actionariat soit contrôlée par des firmes du pays récepteur) élevées entravent la diffusion internationale des connaissances brevetées. Selon la technologie, une augmentation des barrières tarifaires d'une unité sur une échelle commune de 1 à 10 engendre une baisse de 7 %-15 % des importations de brevets, alors qu'une augmentation d'un point des barrières aux IDE entraîne une baisse de 4,5 %-8 %. La même étude montre également que les technologies d'atténuation du changement climatique ne sont à cet égard pas différentes des autres domaines technologiques.

La conception de ces réglementations mériterait d'être discutée plus en profondeur. Des barrières non tarifaires, telles que l'obligation de contenu local dans la production (qui rendent obligatoire de préférer un fournisseur local et des matériaux et équipements fabriqués localement) ou des réglementations qui encouragent les joint-ventures avec les partenaires locaux plutôt que de nouveaux investissements ou des fusions acquisitions, sont des pratiques courantes dans les secteurs liés au changement climatique. Elles ont été mises en place dans les filières éoliennes au Canada, en Chine, en Espagne, au Brésil, en Inde, en Australie et au Portugal, avec des résultats divers. Un autre exemple est la loi chinoise sur les projets de Mécanisme de développement propre qui stipule que les investissements étrangers dans les projets de MDP ne doivent pas excéder 49 % du montant total des capitaux.

De telles dispositions ont des effets ambigus sur les transferts et la diffusion des technologies. D'une part, elles n'encouragent pas les entreprises étrangères à investir localement et réduisent les importations de biens d'équipement. D'autre part, elles peuvent aider à la diffusion des technologies au sein de l'économie. C'est l'objectif principal des réglementations qui encouragent les joint-ventures et dont le but est de faciliter la transmission de connaissances et de compétences aux partenaires locaux. Le résultat net de ces deux effets peut beaucoup varier en fonction des secteurs et des pays. Il peut également être positif dans des domaines et des pays où la taille du marché et les capacités d'absorption sont suffisantes pour attirer les investisseurs étrangers malgré ces contraintes.

Cependant, l'abaissement de ces barrières pose des problèmes spécifiques aux technologies climatiques. Un premier problème réside dans l'existence d'éventuelles fuites de carbone auxquelles les mécanismes d'inclusion carbone aux frontières sont sensés répondre. Les gouvernements des pays développés craignent que les politiques climatiques nationales trop strictes, en générant des surcoûts de production auxquels ne sont pas soumis les concurrents étrangers localisés dans des pays dotés de politiques plus souples, puissent nuire à la compétitivité des entreprises locales. Non seulement les politiques climatiques locales échoueraient dans leur objectif environnemental en augmentant les émissions de carbone à l'étranger, un phénomène appelé fuite de carbone, mais elles détruiraient également les emplois locaux. Ces préoccupations ont mené certains pays appartenant à l'Union européenne et les États-Unis à réfléchir à l'introduction de mécanismes aux frontières dans le but d'harmoniser les règles du jeu. Cela aboutirait à imposer les mêmes coûts sur les produits importés et sur les produits locaux. Pour harmoniser les règles du jeu sur les marchés mondiaux, une autre mesure consiste à exempter les exportations des réglementations nationales sur le carbone.

En pratique, les mécanismes d'inclusion aux frontières pourraient être mis en place *via* une taxe carbone dont le montant serait proportionnel au contenu carbone des produits importés. Au sein de l'Union européenne, la préférence va plutôt à un dispositif obligeant les importateurs à s'acquitter d'indemnités en cas de fuite de carbone au sein d'un secteur local concurrent. S'ils sont correctement conçus, de tels dispositifs pourraient être compatibles avec les règles de l'OMC, les objectifs environnementaux faisant partie des exceptions générales énoncées dans l'article XX du GATT (Voir OMC/FUNU, 2009, ou Pauwelyn, 2012).

Qu'en est-il de l'éventuel impact des mécanismes d'inclusion aux frontières sur le transfert de technologies ? À court terme, les impacts ne peuvent qu'être négatifs, en réduisant les incitations des entreprises occidentales à localiser une partie de leurs

activités dans les pays en voie de développement. Cela pourrait également déclencher des guerres commerciales et amener certains pays en voie de développement à entreprendre des mesures de rétorsion. Les répercussions à long terme sont plus incertaines. L'objectif implicite de ces mesures est d'encourager les gouvernements des économies émergentes à renforcer leurs politiques climatiques nationales. Comme expliqué précédemment, cela pourrait stimuler la demande locale en technologies à faible émission carbone.

#### 4.5 Le Mécanisme de développement propre et les autres mécanismes du marché carbone

Le Mécanisme de développement propre (MDP) mis en place par le protocole de Kyoto permet aux pays industrialisés qui ont accepté de réduire leurs émissions (les pays de l'annexe 1)<sup>1</sup> de développer ou de financer des projets qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans d'autres pays, en échange de crédits de réduction d'émissions. Alors que son objectif initial était de diminuer les coûts d'abattement, le MDP fournit également un soutien technique et financier à la diffusion des technologies climatiques dans les pays non-Annexe 1. Si la technologie utilisée dans le projet n'est pas disponible dans le pays d'accueil, le projet entraîne de facto un transfert de technologies transfrontalier.

Plusieurs études empiriques ont été menées afin d'évaluer si le MDP a encouragé les transferts Nord-Sud de technologies (de Coninck *et al.*, 2007 ; Haites *et al.*, 2006 ; Seres, 2007 ; Dechezleprêtre *et al.*, 2008 ; Schneider *et al.*, 2008 ; Doranova *et al.*, 2009). Elles concluent qu'environ 40 % des projets MDP entraînent un transfert de technologies. Ces transferts sont principalement constitués d'équipements techniques et/ou de savoir-faire plutôt que d'inventions brevetées<sup>2</sup> (Dechezleprêtre *et al.*, 2008). Le transfert est plus fréquent dans le cadre de projets importants et de projets impliquant directement les entreprises de l'annexe 1 *via* des filiales locales ou en tant qu'acheteurs de crédits (Dechezleprêtre *et al.*, 2008).

Les transferts de technologies ne sont pas répartis de façon égale entre les pays récepteurs de projets MDP car leurs profils sont différents en termes de potentiel d'abattement et de capacités d'absorption. En 2007, le Mexique, la Chine, le Brésil et l'Inde, qui représentaient 75 % des projets validés, ont bénéficié de transferts dans respectivement 60 %, 59 % et 12 % de leurs projets (Dechezleprêtre *et al.*, 2009). Ces différences sont partiellement dues à la spécialisation des pays dans certains types de projets tels que la récupération du biogaz dans les élevages au Mexique et au Brésil ou l'énergie éolienne en Chine. Cependant, les transferts vers le Mexique et le Brésil ont été principalement menés grâce à la forte implication de partenaires étrangers et à de bonnes capacités technologiques, alors que les opportunités d'investissement générées par les économies à forte croissance ont joué un rôle plus important en

---

(1) Il convient de noter que le MDP n'avait pas d'exigence particulière en matière de transfert de technologies dans le protocole de Kyoto. Cela a été inclus plus tard dans l'Accord de Marrakech en 2001.

(2) Les transferts de technologies concernent deux secteurs en particulier, dont 1) la filière éolienne et 2) le traitement des GES autres que CO<sub>2</sub> à fort potentiel de réchauffement climatique (tels que HFCs, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) dans les secteurs de la chimie, de l'agriculture et de traitement des déchets. D'autres projets, tels que la production d'électricité à partir de biomasse ou des mesures d'efficacité énergétique dans le secteur industriel, reposent principalement sur des technologies locales (Dechezleprêtre *et al.*, 2008).



Chine et en Inde. Le taux élevé du transfert international en Chine reflète également ses fortes capacités d'absorption. En revanche, l'Inde dispose de capacités d'absorption plus faibles et la plupart des projets MDP indiens utilisent des technologies disponibles localement.

Malgré ces réussites, il est largement admis que le MDP n'a pas atteint tous ses objectifs en ne permettant pas d'exploiter entièrement le potentiel des pays en voie de développement en termes de réduction d'émissions de GES et de diffusion de technologies. Une première explication résiderait dans les coûts de transaction élevés associés aux méthodologies d'évaluation et aux procédures de suivi requises pour chaque projet (voir par exemple Hampton *et al.*, 2008). Le cadre du MDP n'est également pas adapté lorsque l'échelle du projet ne permet pas de prendre en compte tous les mécanismes économiques en jeu – par exemple, en présence de synergies ou d'économies d'échelle entre différents projets<sup>1</sup> (Glachant et Ménière, 2011). Les méthodologies des projets MDP se sont révélées inadaptées à des projets complexes impliquant le renforcement de capacité et/ou des actions de politique publique (par exemple, un transfert modal dans le secteur des transports, ou la transition vers des réseaux électriques intelligents).

Dans ce contexte, plusieurs évolutions de MDP ont été envisagées jusqu'à présent. Elles consistent toutes à assouplir le mécanisme en élargissant le périmètre des projets. Une première étape dans cette direction a été franchie avec la mise en œuvre de projets MDP programmatiques, qui consistent à regrouper différents projets MDP en un unique programme afin de réduire les coûts de transaction liés à leur validation officielle.

La « Plate-forme de Durban » adoptée lors de la COP en 2011 engage les parties à formuler un Nouveau Mécanisme de marché (NMM) selon l'accord de 2015. La nature de ce mécanisme reste vague et la définition des règles a été reportée à la COP de Varsovie en 2013. Contrairement au MDP, le NMM pourrait être de nature sectorielle. Il irait au-delà de la simple compensation des émissions et produirait un bénéfice atmosphérique net. Il pourrait également inclure un système de crédit ou d'échange sectoriel, formant à terme la pierre angulaire d'un système de plafonnement et d'échanges de droits d'émission de gaz à effet de serre à l'échelle de l'économie mondiale.

À l'instar du MDP, l'objectif premier du NMM ne serait pas le transfert des technologies. Cependant, il y a de bonnes raisons de penser qu'il serait plus efficace que le MDP en la matière. La dimension sectorielle permet l'existence d'économies d'échelle et une meilleure coordination de la suppression des barrières technologiques et financières communes. Elle renforce la possibilité d'utiliser des leviers de politiques publiques au niveau sectoriel qui permettent de se concentrer sur les investissements dans les infrastructures et le développement de capacités techniques nécessaires à la réalisation des projets (notion de *capacity building*). Cela pourrait également faciliter l'internationalisation des *spillovers* d'apprentissage.

---

(1) Le projet MDP mené par Indocement en Indonésie est un exemple (Glachant et Ménière, 2007). Avec le soutien de l'entreprise allemande Heidelberg Cement, Indocement a supporté les coûts de développement initial et de la certification d'un nouveau type de ciment hybride, basé sur des composants disponibles localement dont la production requiert moins d'énergie. Ce premier projet a ensuite engendré d'autres projets similaires dans le pays.

Depuis 2010, le Japon défend le principe d'un mécanisme bilatéral de crédit de compensation (*Bilateral Offset Crediting Mechanism*). Ce mécanisme est similaire à celui du MDP dans la mesure où c'est le pays financeur (le Japon) qui investit dans des projets – et potentiellement dans des programmes – de réduction d'émissions dans des pays en voie de développement, en contrepartie de l'octroi de crédits de compensation. La principale différence réside dans une procédure simplifiée, qui reste principalement au niveau bilatéral, tandis que le MDP est administré par la CCNUCC. Le BOCM est perçu par beaucoup comme un moyen pour le Japon d'exporter ses technologies à l'étranger dans un cadre permettant de partager les bénéfices économiques entre les deux pays participants.

#### 4.6 Initiatives privées volontaires

Ces initiatives désignent de vastes accords internationaux entre des entreprises d'un même secteur, en vue d'améliorer la coordination de leurs actions d'atténuation des GES *via* le partage d'information, de technologies ou le développement commun de technologies.

Il existe actuellement trois principaux exemples de tels accords : l'initiative Ciment du WBCSD (*Cement Sustainability Initiative*), l'Institut international de l'aluminium et l'Institut international de l'acier (Worldsteel) (voir l'encadré 3 ci-dessous). D'autres types d'accords entre industriels diffèrent de ces trois initiatives, soit parce que leur périmètre géographique est plus limité, soit parce qu'ils impliquent la participation des autorités publiques. C'est par exemple le cas des accords volontaires entre des associations industrielles et le gouvernement japonais ou la Commission européenne. Le partenariat Asie-Pacifique sur le développement propre et le climat est encore un autre type d'accord, original dans le sens où, jusqu'à présent, il a impliqué plusieurs États et secteurs industriels dans le cadre d'un partenariat public-privé. Cependant, ces activités sont similaires à celles menées au sein des accords sectoriels de l'acier, du ciment et de l'aluminium.

##### Encadré 3 : Trois exemples de démarches privées volontaires (*business-led initiatives*)

Lancée en 2000 par le WBCSD (Conseil mondial des affaires pour le développement durable), l'**Initiative Ciment** (CSI) a pour but de développer une stratégie de développement durable au sein de l'industrie du ciment, en intégrant les problématiques d'atténuation du changement climatique dans ses objectifs. En février 2011, cette initiative impliquait 23 groupes majeurs de l'industrie du ciment, présents dans plus de 100 pays et représentant plus de 40 % de la production mondiale.

Dans le secteur de l'aluminium, l'**Institut international de l'aluminium** (IAI) est composé de 27 entreprises industrielles représentant environ 80 % de la production mondiale. Dans le cadre du programme « L'aluminium pour les générations futures », les membres de l'IAI se sont mis d'accord en 2009 sur une liste d'objectifs volontaires d'amélioration de la durabilité environnementale de la production de l'aluminium : 1) réduire les émissions de PFC (perfluorocarbures) ; 2) réduire l'énergie nécessaire à la fonte d'une tonne d'aluminium en 2010 de 10 % par rapport à 1990 et 3) contribuer à la réduction des émissions liées au transport en réduisant le poids des composants en aluminium.

Dans le secteur de l'acier, la **World Steel Association** a été créée en 1967 et représente 180 producteurs d'aciers, dont 19 des 20 plus grands producteurs au monde. Les membres couvrent 85 % de la production mondiale, dont les pays émergents les plus

importants (la Chine, l'Inde et le Brésil). L'association a pour objectif de promouvoir le développement durable de la filière. La lutte contre le changement climatique est affichée comme une de ses priorités.

Les secteurs concernés par ces initiatives ont plusieurs caractéristiques communes. L'aluminium, le ciment et l'acier font partie des secteurs industriels les plus émetteurs de GES. Ils sont donc identifiés comme des candidats prioritaires<sup>1</sup> pour mettre en place des mécanismes de réduction des émissions carbone au niveau sectoriel (Egenhoffer et Fujiwara, 2008). Malgré différents degrés d'exposition à la concurrence mondiale, ces secteurs sont également très concentrés au niveau international et sont dominés par un petit nombre de sociétés multinationales présentes dans de nombreux pays<sup>2</sup>. Ces caractéristiques impliquent un certain degré d'homogénéité entre les entreprises de différents pays, ce qui renforce la pertinence d'une approche sectorielle. Un nombre limité d'acteurs et leur périmètre international permettent également de faciliter la coordination d'initiatives communes (Olson, 1965).

Ces initiatives poursuivent généralement deux objectifs communs :

1. Tout d'abord, elles produisent des études comparatives et collectent des données sur leurs émissions de GES respectives (Baron et Ellis, 2006 ; Fujiwara, 2010). La production et la divulgation de ce type d'information sont à la fois coûteuses et risquées pour les entreprises, puisqu'elles peuvent encourager la mise en place de réglementations. Cependant, produire des études qui comparent les méthodes de mesure et de collecte de données peut également représenter un moyen pour l'industrie d'anticiper de nouvelles réglementations, et de les influencer dans une direction favorable (CCAP, 2008). Les entreprises des pays développés perçoivent cette approche collaborative comme un moyen de faciliter l'implication des entreprises des pays en voie de développement dans l'atténuation du changement climatique. En effet, une approche de comparaison commune rend possible l'anticipation de problèmes relatifs à la collecte de données et au besoin de renforcement de capacité dans certains pays.
2. Ces initiatives ont également pour objectif d'encourager le développement et la dissémination des technologies au sein de l'industrie, ce qui est susceptible d'attirer des industriels des pays en voie de développement (CCAP, 2008). Cela peut être réalisé *via* trois types d'actions, moyennant un degré de coopération plus grand (Baron et Ellis, 2006 ; Fujiwara, 2010) :
  - a) veille technologique pour identifier et comparer des technologies à faible émission carbone susceptibles d'être utilisées par les industriels ;
  - b) partages des bonnes pratiques et/ou de savoir-faire ;
  - c) coopération pour le développement de nouvelles technologies qui pourraient être utilisées par tous les partenaires.

Jusqu'ici les initiatives émanant du secteur industriel n'ont pas donné de résultats significatifs en matière de réduction des émissions carbone, de développement et de diffusion de technologies. La plupart des actions initiées par le CSI, l'IAI et World Steel

---

(1) D'autres candidats sont composés d'un petit nombre de grands producteurs dans les secteurs de la chimie, du papier et de l'énergie particulièrement énergivores.

(2) Dès 2007, les 10 plus grands acteurs ont réalisé respectivement 26 %, 25 % et 54 % de la production mondiale d'acier, de ciment et d'aluminium (Viellefosse, 2007 ; Baron *et al.*, 2007 ; Egenhoffer et Fujiwara, 2008).

sont limitées à des études de comparaison et au partage de bonnes pratiques. Seul World Steel a lancé un programme de long terme de coopération en R&D, alors que les ambitions du CSI en la matière n'ont apparemment pas encore pu se matérialiser.

Ces modestes réalisations sont dues au manque de dispositifs d'incitation pour aider les entreprises à collaborer activement dans le partage d'informations stratégiques et de technologies avec leurs concurrents. Puisque les initiatives industrielles ont pour objectif principal d'anticiper la mise en œuvre de réglementations contraignantes au niveau sectoriel dans un nombre assez élevé de pays, elles pourraient jouer un rôle encore plus important si ces réglementations étaient adoptées (ou si la menace de leur mise en œuvre effective était suffisamment prise au sérieux). Dans ce cas, les initiatives industrielles seraient des instruments intéressants pour la création, l'harmonisation et l'implémentation des régulations au niveau international. Ces initiatives faciliteraient notamment la participation des pays en voie de développement dans la mise en place des politiques. Enfin, elles pourraient faciliter le respect de la législation par l'ensemble des acteurs à travers le développement et la diffusion des technologies climatiques.

#### 4.7 Mesures d'atténuation appropriées au niveau national (NAMAs)

Jusqu'en 2020 au moins, les pays en voie de développement ne seront pas soumis à des plafonds d'émissions sous l'égide de la CCNUCC. En revanche, il leur est demandé de prendre des mesures d'atténuation appropriées au niveau national (NAMAs) afin de réduire leurs émissions de GES en dessous du scénario *business-as-usual* (BAU). Différentes mesures constituant un mélange de politiques économiques et de programmes dans des secteurs divers peuvent se retrouver sous l'égide d'une NAMA.

Le cadre des NAMAs permet aux gouvernements des pays en voie de développement de définir des stratégies spécifiques à chaque secteur en fonction du contexte national (Helme, 2010). Ces stratégies peuvent combiner des investissements privés avec des mesures réglementaires et/ou des investissements publics pour le développement de capacités (capacity building). Les NAMAs peuvent être classées en trois catégories d'actions générales (Helme *et al.*, 2010) :

- les NAMAs unilatérales développées à l'aide de ressources nationales sans aucune compensation de la part des pays développés ;
- les NAMAs soutenues bénéficiant d'un soutien ex ante de la part des pays développés *via* des financements, un transfert de technologies ou un renforcement de capacité. Les financements sont sensés s'opérer *via* des donateurs bilatéraux ou multilatéraux ou à travers des instances officiellement validées par la Conférence des parties (COP), comme le Fonds vert pour le climat ou le Fonds pour l'environnement mondial (*Global Environmental Facility*) ;
- les NAMAs créditées, qui ne sont pas officiellement reconnues dans les négociations, peuvent financer ex post des actions à travers des mécanismes de crédits carbone. Dans ce cas, la contribution des pays développés est moins directe puisqu'elle implique l'achat de crédits carbone, soit par le biais du gouvernement, soit par des acteurs soumis au système de permis échangeables.

Globalement, les NAMAs sont des politiques climatiques nationales dans les pays en voie de développement. Par conséquent, il n'y a rien de général à expliquer sur leur

lien avec le transfert de technologies. Il existe cependant des concepts intéressants de NAMAs axées sur les technologies : la Chine envisage par exemple la mise en place des NAMAs par secteur technologique (encadré 4). L'idée principale est d'exprimer les objectifs des NAMAs en termes d'adoption de technologies et non d'émissions. Le contrôle et le *reporting* en seraient facilités. Les liens entre le financement et les activités économiques apparaîtraient plus clairement. Enfin, ce système pourrait s'adapter aux instruments de la politique industrielle mise en œuvre en Chine.

**Encadré 4 : NAMAs sectoriels basés sur les technologies : une étude de cas préliminaire dans les secteurs du ciment, du fer et de l'acier en Chine (Klein *et al.*, 2009)**

Des experts du Center for Clean Air Policy (CCAP) en coopération avec l'université de Tsinghua ont développé un modèle de NAMAs basé sur les technologies qui pourrait contribuer à la réduction des émissions d'ici 2020 dans les secteurs de l'énergie, de l'acier et du ciment. Ils proposent une approche au niveau technologique adaptée aux problèmes de vérification inhérents aux pays en voie de développement.

Selon leurs estimations, la production dans ces secteurs industriels augmentera considérablement dans les prochaines années : + 136 % de 2009 à 2020 pour l'acier, + 230 % entre 2009 et 2025 pour le secteur de la production électrique, et + 393 % entre 2007 et 2025 pour le secteur du ciment. Les NAMAs peuvent être une source de financements adaptée pour freiner l'augmentation des émissions, par le biais, entre autres, de mécanismes de marchés. Cependant, étant donné le manque de données sur les performances industrielles en termes de réduction des émissions et les incertitudes vis-à-vis des scénarios de croissance BAU dans ces domaines, superviser ces NAMAS pourrait s'avérer extrêmement compliqué.

Dans ces conditions, une alternative serait de baser la conception des NAMAs sur des objectifs de pénétration des technologies (soit des technologies spécifiques, des procédés de production, ou des équivalents en termes de performance) plutôt que sur les objectifs quantifiés et de vérification des réductions d'émissions.

L'accélération de la pénétration du marché comparée au scénario BAU pourrait bien être un objectif quantifiable et vérifiable. De plus, cette approche aurait l'avantage d'établir un lien clair entre le financement et l'activité économique : dans un cas standard, la seule vérification possible est le résultat global, alors que les moyens pour arriver au résultat sont plus facilement observables.

De tels NAMAs s'adapteraient également bien à la planification générale qui s'opère en Chine, notamment en matière de développement industriel pour des secteurs clés et en ce qui concerne les mandats politiques. Selon les modalités du financement et de ses origines, ces NAMAs pourraient prendre la forme d'actions unilatérales, d'actions dites soutenues, ou de système de crédit carbone pour des technologies plus onéreuses à mettre en œuvre.

#### 4.8 Le Mécanisme technologique

Les instruments politiques existants présentés dans les sous-parties précédentes n'abordent pas certaines composantes des politiques futures de promotion de la diffusion des technologies climatiques au niveau mondial. L'articulation de différents instruments reste notamment une question ouverte aujourd'hui. Le Mécanisme technologique peut apporter des réponses à cette question. Cette entité

**- Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone -**

institutionnelle a été établie en 2010 lors de la 16<sup>e</sup> session de Conférence des parties (COP) à Cancún au Mexique. Son objectif est de « faciliter la mise en place de mesures importantes de développement et le transfert technologique pour soutenir l'action d'atténuation et d'adaptation au changement climatique ». Il est constitué de deux éléments :

- un organe politique appelé Comité exécutif des technologies (TEC), composé de vingt experts indépendants de haut niveau, élus par la COP. Le mandat du TEC est de soutenir la conception et la coordination de programmes d'action pour le transfert et la diffusion des technologies. Cette action est basée sur un examen minutieux des besoins prioritaires des pays récepteurs, ainsi que des obstacles auxquels ils font face (voir les fonctions détaillées du TEC dans l'encadré 5) ;
- le Centre et réseau des technologies climatiques (CTCN). Actuellement, le CTCN n'existe que sur le papier ; il doit être à l'avenir hébergé par une autre organisation déjà existante. Il mettra en œuvre le transfert effectif de technologies et exercera ses fonctions mandatées par la Conférence des parties de la CCNUCC. Le CTCN devra faciliter l'articulation entre, d'une part, des réseaux nationaux, régionaux, sectoriels, de technologies au niveau international et, d'autre part, des initiatives et organisations dans l'objectif d'inciter les participants du Réseau à mettre effectivement en œuvre le développement et la diffusion des technologies.

**Encadré 5 : Fonctions du Comité exécutif des technologies (TEC)**

- a) Fournir un état des lieux des besoins en technologies et une analyse des problèmes politiques et techniques relatifs au développement et au transfert des technologies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.
- b) Examiner et recommander des actions pour promouvoir le développement et le transfert technologique afin d'accélérer les actions d'adaptation et d'atténuation.
- c) Fournir des recommandations sur des politiques et des programmes prioritaires relatifs au développement et au transfert des technologies avec une attention spéciale portée aux pays les moins avancés.
- d) Promouvoir et faciliter la collaboration en matière de développement et de transfert des technologies d'atténuation et d'adaptation entre les gouvernements, le secteur privé, les organisations à but non lucratif et les communautés de chercheurs.
- e) Recommander des actions pour surmonter les obstacles au développement et au transfert des technologies afin de renforcer l'action d'adaptation et d'atténuation.
- f) Chercher à coopérer avec des initiatives, des parties prenantes et des organisations pertinentes aux niveaux international et technologique, et promouvoir la cohérence et la coopération entre les activités relatives aux technologies, y compris celles faisant partie ou non de la Convention.
- g) Catalyser le développement et l'utilisation des feuilles de route ou plans d'actions de technologies aux niveaux international, régional et national par le biais de coopération entre les parties prenantes pertinentes, particulièrement entre les gouvernements et les organisations ou institutions. Cela inclut le développement de bonnes pratiques comme outil pour faciliter les actions d'atténuation et d'adaptation.

Le Mécanisme technologique se trouve dans une phase initiale et n'a pas encore publié officiellement de feuille de route ou de plan d'action de technologies. Il n'est donc pas possible à ce stade de procéder à une évaluation ex post de son impact réel sur le transfert des technologies au niveau international. Il est néanmoins possible de

discuter de sa pertinence en tant que nouvel organe administratif dans l'architecture internationale actuelle.

Contrairement au Groupe d'experts sur le transfert de technologies de la COP, le TEC est tout d'abord un organe indépendant dont la légitimité des membres provient de leur expertise technique, plutôt que du fait d'être les représentants d'une ou de plusieurs parties de la COP. Il est ainsi mieux placé pour adresser des analyses et des recommandations objectives à des organes politiques tels que la COP ou les gouvernements. L'existence d'une source d'expertise indépendante est particulièrement utile étant donné la nature extrêmement technique et controversée du sujet du transfert et de la diffusion des technologies.

Le Mécanisme technologique dispose également d'un mandat assez large pour activer efficacement tous les leviers relatifs au transfert de technologies, dont le renforcement de la capacité dans son sens le plus large. Par conséquent, sa position permet de guider et de soutenir de manière efficace les pays les moins avancés à franchir les étapes les plus élémentaires (par exemple, l'acquisition d'expertise en matière de réglementation) vers des politiques de renforcement des capacités et de permettre la participation des acteurs économiques, ainsi que celle des instituts technologiques, scientifiques et académiques.

#### 4.9 Financement

Le financement est un élément essentiel des discussions internationales sur la technologie et nous avons déjà évoqué cette problématique précédemment en mentionnant le rôle du marché carbone. D'une manière générale, les ressources financières pour soutenir la diffusion de la technologie peuvent provenir de trois sources :

- le secteur privé ;
- les fonds publics, bilatéraux ou multilatéraux (dont le Fonds vert pour le climat) ;
- les mécanismes du marché carbone.

Alors que le développement et la diffusion des technologies est avant tout un enjeu économique, la littérature économique fait état de nombreux cas en faveur d'une intervention publique pour subventionner ces activités. Ces interventions sont justifiées, car l'adoption et la diffusion de la technologie entraînent des externalités positives, c'est-à-dire des bénéfices qui ne sont pas captés par les fournisseurs ou les utilisateurs des technologies. En particulier, les bénéfices de l'apprentissage par la pratique ont tendance à se diffuser dans l'économie. Dans ce cas, la théorie économique recommande de subventionner ces activités afin d'aligner les profits privés avec la valeur sociale de l'adoption des technologies. De la même façon, la théorie recommande de taxer les émissions de dioxyde de carbone en raison des effets externes négatifs.

Les mécanismes du marché carbone peuvent être une des options, comme indiqué dans l'encadré 4 qui décrit un modèle possible de NAMA basée sur la technologie dans laquelle la quantité de crédits pourrait être liée aux indicateurs d'adoption de la technologie. Cependant, les discussions actuelles sur le NMM suggèrent que les futurs mécanismes continueront à se focaliser sur des objectifs d'atténuation (même s'ils entraînent de manière collatérale une diffusion des technologies, comme le fait le

MDP aujourd'hui). De plus, les mécanismes de marché pourraient ne pas être adaptés aux projets risqués tels que des programmes de démonstration des technologies, puisque ceux-ci génèrent des incertitudes supplémentaires : les retombées économiques de ces programmes dépendraient du prix du marché du carbone qui fluctue énormément, comme l'expérience le montre. Le programme NER 3000 de l'Union européenne illustre parfaitement ce risque. En effet, 300 millions d'allocations seront vendues afin de subventionner l'installation de technologies innovantes en matière d'énergie renouvelable et de capture et de stockage du carbone (CSC). Cependant, la chute importante du prix du carbone a entraîné le retrait de tous les projets de CSC.

## 5 Transfert de technologies et compétitivité

La majeure partie de l'évaluation réalisée dans ce rapport adopte le point de vue d'un régulateur mondial bienveillant cherchant à maximiser la diffusion internationale des technologies d'atténuation du changement climatique. Cependant, ce régulateur n'existe pas dans le monde réel. Les politiques de promotion des transferts de technologies sont mises en place au niveau national ou mondial par le biais de négociations entre les gouvernements qui protègent leurs intérêts nationaux. Dans ce contexte institutionnel, la répartition des coûts et des profits entre les pays<sup>1</sup> est aussi importante que l'efficacité générale des solutions politiques proposées.

Les points de vue sont bien sûr différents dans les pays supposés fournir les technologies (principalement les pays industrialisés) et les pays récepteurs (économies émergentes et pays les moins avancés). Ces derniers sont évidemment favorables au développement du transfert des technologies. En revanche, les pays industrialisés dans lesquels se trouvent les technologies expriment des positions ambiguës. Beaucoup sont conscients qu'elles peuvent entraîner des bénéfices environnementaux en aidant les pays en voie de développement à réduire leurs émissions. Mais ils craignent également la perte de leur compétitivité. Les discussions politiques sur la « croissance verte » qui se sont multipliées ces dernières années soulignent que le fait de devenir leader dans les technologies vertes peut être un outil important de stimulation de la compétitivité des économies nationales. De ce point de vue, l'intérêt de transférer des technologies à forte valeur à l'étranger est loin d'être un objectif évident en termes de politique nationale.

L'impact du transfert des technologies sur le bien-être des pays fournisseurs de technologies est également loin d'être évident, comme le montre le tableau 6 :

- le bénéfice environnemental est positif seulement si les pays récepteurs mettent en œuvre des politiques environnementales et climatiques nationales strictes. Sinon certaines activités polluantes risqueraient d'être relocalisées dans des pays dotés de réglementations moins ambitieuses, entraînant une augmentation générale des émissions (fuites de carbone) ;
- les impacts économiques résultent du fait que, dans de nombreux secteurs économiques, les entreprises locales opèrent sur les marchés internationaux et sont donc en concurrence avec des producteurs localisés dans les pays

---

(1) Nous nous sommes contentés ici d'analyser les problèmes de distribution entre les pays. L'impact sur la distribution au sein des pays est également très important, mais nous laissons cette étude à des recherches futures.



récepteurs des technologies. Dans ce contexte, le transfert de technologies peut engendrer des bénéfices dans le pays source en augmentant les exportations vers les pays récepteurs. Il faut en effet se souvenir que de nombreuses technologies sont transférées *via* le commerce international. Des bénéfices à l'étranger peuvent également être générés quand des sociétés nationales investissent dans les pays récepteurs (la diffusion des technologies *via* le canal des IDE). La récolte de ces bénéfices requiert en revanche la mise en œuvre effective des droits de PI et l'élimination des barrières aux échanges et aux IDE. Le respect des droits de PI limite la diffusion des technologies vers les concurrents une fois que la technologie est introduite dans les pays récepteurs et l'abaissement des barrières crée des opportunités de faire des profits dans le pays récepteur. Dans les cas où les droits de PI ne sont pas suffisamment stricts et où les barrières sont importantes, les impacts économiques peuvent être négatifs ;

- les ventes de technologies à travers la concession de licence peuvent générer des profits, mais il s'agit d'un petit marché comme expliqué précédemment. Une fois de plus, les bénéfices sont proportionnels au niveau de sévérité des droits de PI ;
- le transfert de technologies augmente la concurrence mondiale et baisse le prix des biens produits grâce à des technologies climatiques, ce qui est plutôt une bonne nouvelle pour les acheteurs. La chute spectaculaire des prix des panneaux photovoltaïques en est une bonne illustration.

Le message principal à retenir est que le développement du transfert des technologies peut être profitable à la fois aux pays industrialisés et aux pays en voie de développement si les politiques économiques créent des conditions de marché favorables à la diffusion internationale des connaissances et des compétences. Cela est nécessaire pour deux raisons : rendre le transfert de technologies acceptable pour les pays industrialisés et inciter les acteurs privés, détenteurs des technologies.

Certains secteurs économiques opèrent aussi sur les marchés locaux, tels que le secteur de l'énergie ou du traitement des déchets et de l'assainissement. Ceci est également vrai pour les pays les moins avancés qui ne sont pas encore intégrés aux marchés mondiaux. Dans ce cas, la plupart des effets négatifs mentionnés ci-dessus disparaissent (fuites de carbone, effets nocifs sur la concurrence<sup>1</sup>).

---

(1) Cependant, ces secteurs peuvent être indirectement touchés par la mondialisation puisque certains marchés en amont et en aval sont internationaux. Prenons l'exemple du secteur de l'énergie : le transfert des technologies dans le domaine de l'énergie au Brésil n'a aucune influence directe sur la production d'électricité dans le pays fournisseur de la technologie. Mais cela peut avoir un impact sur certains clients locaux, tels que les producteurs d'aluminium qui opèrent sur un marché mondial : si le transfert fait baisser les prix de l'énergie au Brésil, cela augmentera la compétitivité de la production d'aluminium brésilien et réduira la production nationale d'aluminium et, indirectement, la demande locale d'électricité.

**Tableau 6 : Impacts du transfert des technologies sur le bien-être des pays fournisseurs de technologies**

Impact environnemental	Impact positif si une politique climatique est mise en place dans le pays récepteur. Sinon, impact négatif (fuite de carbone)
Activité économique locale	Impact positif s'il y a commerce international vers des pays récepteurs dotés de droits de PI stricts Sinon, impact négatif
Activité économique à l'étranger (multinationales)	Impact positif s'il y a IDE dans des pays récepteurs dotés de droits de PI stricts Sinon, impact négatif
Ventes de technologies	Impact positif si les droits de PI sont stricts, mais limités
Prix du produit	Impact positif
Impact global	Ambigu

# Conclusion

Ce rapport cherche à identifier les politiques économiques les plus adaptées pour promouvoir la diffusion internationale des technologies à faible émission carbone, avec une attention particulière portée aux économies émergentes dont les émissions augmentent rapidement. Nous espérons que ces recommandations pourront alimenter les discussions en cours au niveau international sur le transfert des technologies, en particulier au sein du Comité exécutif technologique.

Ce rapport propose trois contributions majeures. Il fournit, tout d'abord, une description à jour du transfert de technologies actuel et de son évolution depuis vingt ans. Ensuite, il propose et met en œuvre une méthodologie permettant d'identifier les technologies et les pays récepteurs à cibler en priorité. Enfin, il passe en revue l'efficacité des différents instruments et politiques économiques disponibles pour atteindre ces objectifs.

Dans son ensemble, notre évaluation adopte le point de vue d'un régulateur mondial cherchant à maximiser l'intérêt général avant l'intérêt national. Étant donné la nécessité de parvenir à un consensus au sein des pays pour pouvoir avancer sur ces sujets, nous sommes conscients que les aspects distributifs des impacts des politiques économiques entre les différents pays seront un élément clé des négociations.

## **Les transferts internationaux actuels de technologies**

La description est basée sur un ensemble de données unique qui combine presque un million d'applications brevetées en lien avec les technologies climatiques, les données sur échanges bilatéraux entre deux cents pays et les informations sur les investissements directs à l'étranger d'environ dix mille entreprises présentes dans les innovations à basse émission carbone. À notre connaissance, notre base de données est la première qui couvre les principaux canaux de diffusion des technologies climatiques. Le manque de données fiables nous a cependant contraints à exclure l'agriculture et la sylviculture de notre étude.

Le premier résultat important de notre étude est que la diffusion transfrontière des technologies climatiques existe déjà. De plus, cette diffusion augmente constamment malgré l'absence de politiques internationales explicites sur la promotion du transfert de technologies et de politiques fortes en matière d'atténuation du changement climatique. En pratique, les technologies circulent vers les pays en voie de développement *via* deux canaux principaux : les investissements directs à l'étranger et le commerce de biens d'équipement. Bien que l'on manque de preuves solides pour l'affirmer, les marchés de concession de licence internationale semblent jouer un rôle mineur.

Des flux de brevet transfrontaliers semblent avoir lieu entre les pays industrialisés. Cependant le transfert des technologies des pays développés vers les économies émergentes commence à prendre de l'importance avec 16 %-30 % des flux de transferts mondiaux, selon nos différents indicateurs. Le transfert de technologies vers les pays les moins avancés est difficilement perceptible dans les données.

Au sein des principales économies émergentes, plusieurs pays (la Chine, l'Afrique du Sud, le Mexique et, dans une moindre mesure, le Brésil) sont particulièrement bien intégrés aux flux mondiaux de technologies. En revanche, peu de technologies sont transférées vers d'autres pays émergents ou d'autres pays en transition comme la Russie ou l'Inde.

### **Quelles technologies transférer ? Vers quels pays ?**

En réalisant une analyse sur l'intensité actuelle des transferts de technologies et le potentiel de réduction des émissions, nous avons identifié les technologies et les zones géographiques/pays que les politiques devraient considérer en priorité afin de tirer le meilleur profit des nouvelles politiques de transfert de technologies. Il faut noter que nous ne prenons pas en compte d'autres éléments prioritaires, tels que les co-bénéfices de développement, la réduction de la pauvreté, les problématiques d'équité, ou l'impact de la concurrence, qui doivent également être intégrés aux débats politiques.

Nos données indiquent que l'Inde est un pays de première priorité. Le développement du transfert de technologies vers ce pays devrait être couplé à un renforcement des capacités d'absorption de technologies. Nous recommandons que les technologies relatives au chauffage et aux énergies renouvelables (solaire, éolien, biomasse, hydraulique) soient prioritaires en termes de transfert, puisqu'elles combinent à la fois un fort potentiel de réduction d'émissions et des coûts relativement faibles de transfert de technologies.

### **Quels instruments politiques ?**

L'évaluation des différentes politiques économiques est basée sur l'examen approfondi de la littérature économique sur la diffusion transfrontière des technologies. Cet examen souligne tout d'abord le besoin de politiques strictes d'atténuation du changement climatique couplées à une mise en œuvre effective dans les pays du Sud afin de renforcer le transfert des technologies. En effet, ces politiques constituent le seul mécanisme durable permettant de créer une demande locale en technologies climatiques.

Dans le cas d'économies émergentes bien intégrées aux marchés mondiaux et ayant de fortes capacités d'absorption, l'abaissement des barrières au commerce international et aux IDE est une stratégie efficace pour augmenter les flux de technologies transfrontaliers. Le renforcement du système de PI est également un outil efficace pour stimuler les flux technologique vers ces pays. Les effets négatifs potentiels de la PI sont actuellement faibles en raison d'un degré de compétition suffisamment élevé entre les technologies concurrentes de réductions d'émissions. À cet égard, les technologies climatiques ne sont comparables ni aux technologies pharmaceutiques (un médicament peut ne pas avoir de substitut) ni aux technologies de l'information pour lesquelles les problématiques de complémentarité technique et

d'une compatibilité peuvent faire apparaître des brevets « bloquants ». Cependant, il n'y a aucune raison pour que les technologies à faible émission carbone soient à l'abri de ces difficultés pour toujours. En particulier, la découverte d'une technologie de rupture dans certains secteurs (par exemple, CSC, réseaux intelligents et biocarburants) pourrait changer la situation. Cela montre la nécessité d'une supervision minutieuse des problématiques liées aux brevets.

Les pays les moins avancés disposant de peu de capacités d'absorption ne sont pas capables d'absorber de façon efficace les technologies étrangères dans un environnement mondialisé. Il est donc peu probable que la réduction des barrières au commerce et aux IDE et le renforcement des lois nationales en matière de PI entraînent une augmentation du transfert des connaissances et des technologies. Dans ces pays, le développement de capacités d'absorption (*capacity building*) est une priorité.

Le reste de notre rapport discute les nouveaux instruments spécifiques au climat actuellement en cours de négociation au niveau international. Contrairement à l'approche par projet du MDP, les approches par secteur comme le Nouveau Mécanisme de marché (MNN), les initiatives privées volontaires et certaines NAMAs s'orientent dans la bonne direction en permettant une coordination intrasectorielle, l'internationalisation de la diffusion des apprentissages et l'apprentissage collectif. Cependant, les mécanismes du marché carbone pourraient ne pas être la meilleure option pour financer la diffusion des technologies puisqu'ils rajoutent des incertitudes sur les retombées économiques des projets, notamment à cause de la fluctuation des prix du carbone.



# Références

- Anand B., Khanna T. (2000) "The Structure of Licensing Contracts". *Journal of Industrial Economics*, 48 (1) : 103–135
- Baron R., Buchner B., Ellis J. (2009) "Sectoral Approaches and the Carbon Market" OCDE/AIE, Paris.
- Baron R., Buchner B., Ellis J. (2006) "Sectoral Crediting Mechanisms for Greenhouse Gas Mitigation: Institutional and Operational Issues" OCDE/AIE, Paris.
- Barton J. (2007) "Intellectual Property and Access to Clean Energy Technologies in Developing Countries. An Analysis of Solar Photovoltaic, Biofuel and Wind Technologies". ICTSD Programme on Trade and Environment, Issue Paper n° 2
- Bhagwati J. (1982) "Directly unproductive, profit seeking (DUP) activities" *Journal of Political Economy*, 90, pp. 988–1002.
- Bhagwati J., Krueger A.O. (1973) "Exchange control, liberalisation and economic development" *American Economic Review*.
- Berthélemy M. (2012), "What drives innovation in nuclear power technologies? An empirical study based on patent counts", Cerna Working Paper 2012:01.
- Blomström M., Lipsey R.E., Zejan M. (1994) "What explains developing country growth?" in W. Baumol, R. Nelson, E. Wolff (Eds.), *Convergence of Productivity: Cross-National Studies and Historical Evidence*, Oxford University Press, London (1994).
- Borensztein E., De Gregorio J., Lee J.W. (1998) "How does foreign direct investment affect economic growth?" *Journal of International Economics*, 45, pp. 115–35.
- Branstetter L. G., Fisman R., Foley C. F. (2006) "Do stricter intellectual property rights increase international technology transfers? Empirical evidence from U.S. firm-level panel data". *Quarterly Journal of Economics*, 121(1), pp. 321–49.
- Brunnermeier S.B., Cohen M.A. (2003) "Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries," *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(2), pp. 278-293.
- Center for Clean Air Policy (2008) "Sectoral Approaches: A Pathway to Nationally Appropriate Mitigation Actions" <http://mitigationpartnership.net/ccap-2008-sectoral-approaches-pathway-nationally-appropriate-mitigation-actions>.
- Climate Technology Initiative (2002) "Methods for Climate Change Technology Transfer Needs Assessments and Implementing Activities Developing and Transition Country Approaches and Experiences.

Coe D., Helpman E., Hoffmaister A. (1997) "North-South R&D Spillovers," *Economic Journal*, Royal Economic Society, vol.107(440), pp. 134-49.

Cohen WM, Nelson RR, Walsh JP (2000) "Protecting their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why U.S. Manufacturing Firms Patent (or Not)". NBER Working Paper 7552

Crabb J., Johnson D. (2010) "Fueling Innovation: The Impact of Oil Prices and CAFE Standards on Energy-Efficient Automotive Technology". *The Energy Journal*, 31(1).

De la Tour A., Glachant M., Ménière Y. (2011) "Innovation and International Technology Transfer: the Case of the Chinese Photovoltaic Industry". *Energy Policy*, 39(2), pp. 761–770.

Dechezleprêtre A., Glachant M. (2011) "Does foreign environmental policy influence domestic innovation? Evidence from the wind industry" *Cerna Working Paper*.

Dechezleprêtre A., Glachant M., Hascic I., Johnstone N., Ménière Y. (2011) "Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: a Global Analysis". *Review of Environmental Economics and Policy*, 5(1), pp. 109–130.

Dechezleprêtre A., Glachant M., Ménière Y. (2008) "The Clean Development Mechanism and the international diffusion of technologies: An empirical study". *Energy Policy* 36(4), pp. 1273–1283.

Dechezleprêtre A., Glachant M., Ménière Y. (2009) "Technology transfer by CDM projects: a comparison of Brazil, China, India and Mexico". *Energy Policy*, 37(2), pp. 703–711.

Dechezleprêtre A., Glachant M., Ménière Y. (2013) "What Drives the International Transfer of Climate Change Mitigation Technologies? Empirical Evidence from Patent Data" *Environmental and Resources Economics*, 54(2), pp. 161-178.

deConinck, H., Haake, F., van der Linden, N. (2007), "Technology transfer in the Clean Development Mechanism". *Climate Policy*, 7, pp. 444–456.

Dekker T., Vollebergh H.R.J., De Vries F.P., Withagen C. (2009) "Inciting protocols". *Journal of Environmental Economics and Management*, 64(1), pp. 45-67.

Dernis H., Guellec D. (2001) "Using Patent Counts for Cross-Country Comparisons of Technology Output". *STI Review*, 27, pp. 129–146.

Doranova A., Costa I., Duysters G. (2009) "Knowledge Base Determinants of Technology Sourcing in the Clean Development Mechanism Projects", *UNU-MERIT Working Paper 2009-015*.

Duke R., Jacobson A., Kammen D. (2002) "Photovoltaic module quality in the Kenyan solar home systems market". *Energy Policy*, 30, pp. 477–99.

Eaton J., Kortum S. (1996) Trade in ideas Patenting and productivity in the OECD. *Journal of International Economics*, 40(3–4), pp. 251–278.

Egenhofer, C., et N. Fujiwara (2008) "Transnational Sectoral Industry Agreements," *Centre for European Policy Studies*.



- Enkvist, P.A., Nauclér T., Rosander J. (2007) "A cost curve for greenhouse gas reduction", *The McKinsey Quarterly* n° 1, 38.
- Fagerberg, J. (1994) "Technology and International Differences in Growth Rates", *Journal of Economic Literature*, XXXII(3), pp. 1147-1175.
- Fujiwara N. (2010a) "The Merit of Sectoral Approaches in Transitioning towards a Global Carbon Market?" CEPS Special Report.
- Fujiwara N. (2010b) "Sectoral Approaches to Climate Change: What Can Industry Contribute?" CEPS Special Report.
- Glachant M., Ménière Y. (2011) "Project Mechanisms and Technology Diffusion in Climate Policy," *Environmental & Resource Economics*, 49(3), pp. 405-423.
- Griffith R., Redding S., Van Reenen J. (2004) "Mapping the Two Faces of R&D: Productivity Growth in a Panel of OECD Industries," *The Review of Economics and Statistics*, 86(4), pp. 883-895.
- Gross R., Dougherty W., Kumarsingh K. (2004) "Conducting Technology Needs Assessments for Climate Change" UNDP, New York, US.
- Haïtes E., Duan M., Seres, S. (2006) "Technology Transfer by CDM Projects". Margaree Consultants et Tsinghua University. Basic Project
- Hall B., Helmers C. (2011) "Innovation and Diffusion of Clean/Green Technology: Can Patent Commons Help?" NBER Working Paper n° 16920.
- Hampton K., Gray S., Barata P.M. (2008) "Sectoral CDM" CCAP Discussion Paper.
- Helme N. (2010) "NAMAs in Key Sectors: The Way Forward" CCAP Presentation at COP-16, Cancún, Mexico.
- Helme N., Whitesell W., Houdashelt M., Osornio J., Ma H., Lowe A., Polzin T. (2010) "Global Sectoral Study: Final Report" Center for Clean Air Policy.
- Henry M., Kneller R., Milner C. (2009) "Trade, technology transfer and national efficiency in developing countries" *European Economic Review*, 53, pp. 237-254.
- Hoekman B.M., Maskus K.E., Saggi K. (2005) "Transfer of technology to developing countries: Unilateral and multilateral policy options. *World Development*, 33(10), pp. 1587-602.
- ICSTD (2008) "Climate Change, Technology Transfer and Intellectual Property Rights". Background paper of the Trade and Climate Change Seminar, 18-20 juin, Copenhagen, Danemark
- IEA (2012) "Energy Technology Prospective 2012"
- Keesing (D.B. 1967) "Outward-looking policies and economic development" *Economic Journal*, 77, pp. 303-320.
- Keller W. (1996) "Absorptive capacity: On the creation and acquisition of technology in development". *Journal of Development Economics*, 49, pp. 199-227.

Keller W. (2004) "International Technology Diffusion", *Journal of Economic Literature*, 42, pp. 752–782.

Kirkegaard J.F., Hanemann T., Weischer L. (2009) "It Should Be a Breeze: Harnessing the Potential of Open Trade and Investment Flows in the Wind Energy Industry" Working Paper Series WP09-14, Peterson Institute for International Economics.

Klein D., Helme N., Ma H., Wang C. (2009) "Technology-based Sectoral NAMAs: A Preliminary Case Study of China's Cement and Iron & Steel Sectors," Center for Clean Air Policy.

Kneller R., Stevens P.A. (2006) "Frontier Technology and Absorptive Capacity: Evidence from OECD Manufacturing Industries," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 68(1), pp. 1-21.

Kreuger A. (1974) "The political economy of the rent-seeking society" *American Economic Review*, 64, pp. 291–303.

Lanjouw J.O., Mody A. (1996) "Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology". *Research Policy*, 25, pp. 549–571.

Lee J.-Y., Mansfield E. (1996) "Intellectual property protection and U.S. foreign direct investment". *Review of Economics and Statistics*, 78, pp.181–5.

Li J., Colombier M. (2009) "Managing carbon emissions in China through building energy efficiency", *Journal of Environmental Management*, 90(8), pp. 2436-2447.

Major Economies Forum (2009) "Technology Action Plan: Buildings Sector Energy Efficiency", Report to the Major Economies Forum on Energy and Climate prepared by the United States

Mancusi M. (2008) "International spillovers and absorptive capacity: A cross-country cross-sector analysis based on patents and citations". *Journal of International Economics*, 76(2), pp. 155–65.

Maskus K.E. (2000) *Intellectual Property Rights in the Global Economy*. Institute for International Economics, Washington, D.C.

Maskus K.E. (2010) "Differentiated Intellectual Property Regimes for Environmental and Climate Technologies", *OECD Environment Working Papers*, n° 17, Editions OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5kmfwjvc83vk-en>.

Newell R.G., Jaffe A.B., Stavins R.N. (1999) "The induced innovation hypothesis and energy- saving technological change". *Quarterly Journal of Economics*, 114, pp. 941–75.

NRDC (2012), "Constructing Change: Accelerating Energy Efficiency in India's Buildings Market", technical report, Administrative Staff College of India and Natural Resources Defense Council.

Ockwell, D.G., Watson J., MacKerron G., Pal P., Yamin F. (2008) "Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries". *Energy Policy*, 36, pp. 4104–15.

OECD (2010) *Measuring Innovation: A New Perspective*. Directorate for Science, Technology and Industry

Olson M. (1965) *Logic of Collective Action*, Harvard University Press, 1965 (1971 2nd ed.).

Parelo C. (2008) "A North–South model of intellectual property rights protection and skill Accumulation". *Journal of Development Economics*, 85, pp. 253–81.

Pauwelyn (2013) "Carbon Leakage Measures and Border Tax Adjustments Under WTO Law". in D. Prevoost and G. Van Calster (eds.), *Research Handbook on Environment, Health and the WTO* (Edward Elgar).

Peters M., Schneider M., Grieshaber T., Hoffmann V.H. (2012) "The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change—Does the locus of policies matter?" *Research Policy*, 41(8), pp. 1296-1308.

Popp D. (2002) "Induced innovation and energy prices". *American Economic Review*, 92(1), pp. 160–80.

Popp D., Hafner T., Johnstone N. (2007) "Policy vs. consumer pressure: Innovation and diffusion of alternative bleaching technologies in the pulp industry". NBER Working Paper n° 13439.

Institute for building efficiency (2010) "Energy efficiency technology exchange and capacity building: a private sector perspective", Issue Brief, Johnson Controls

Rivera-Batiz L., Romer P. (1991) "International trade with endogenous technological change," *European Economic Review*, Elsevier, vol. 35(4), pp. 971-1001.

Saggi K. (2002) "Trade, foreign direct investment, and international technology transfer: A survey". *World Bank Research Observer*, 17(2), pp. 191–235.

Sampath G., Roffe P. (2012) "Unpacking the International Technology Transfer Debate" ICTSD Programme on Innovation, Technology and Intellectual Property, Issue Paper n° 36.

Schneider M., Holzer A., Hoffmann V.H. (2008) "Understanding the CDM's contribution to technology transfer", *Energy Policy*, 36(8), pp. 2920-2928.

Seres S. (2007) "Analysis of technology transfer in CDM Projects" Prepared for UNFCCC Registration & Issuance Unit CDM/SDM.

Shapiro, C. (2001) "Navigating the Patent Thicket: Cross Licenses, Patent Pools, and Standard-Setting," in *Innovation Policy and the Economy*, ed. by A. B. Jaffe, J. Lerner, and S. Stern, Cambridge, Mass.: MIT Press, vol. 1, 119–150.

Smith P.J. (2001) "How do foreign patent rights affect U.S. exports, affiliate sales, and licenses?" *Journal of International Economics*, 55, pp. 411–439.

UNDP / UNFCCC (2010) "Handbook on conducting technology needs assessment for climate change".

Ürge-Vorsatz (2008) "Climate change mitigation in the buildings sector: the findings of the 4th Assessment Report of the IPCC", presentation at the Poznań Conference of the Parties to the UNFCCC, IPCC

Verdolini E., Galeotti M. (2011) "At home and abroad: An empirical analysis of innovation and diffusion in energy technologies". Journal of Environmental Economics and Management, 61, pp. 119-134.

Vieillefosse A. (2007) « Des accords sectoriels dans les engagements post-2012 ». Etude du ministère français de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables.

Worrell E., Levine M., Price L., Martin N., Van Den Broek R., Blok K. (1997) "Potentials and policy implications of energy and material efficiency improvement". New York: United Nations Division for Sustainable Development.

OMC/FUNU (2009) Trade and climate change, [http://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/trade\\_climate\\_change\\_e.pdf](http://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/trade_climate_change_e.pdf).

# Annexes



## 1 : Liste complète des technologies décrites dans l'ensemble des données sur les brevets

### 1. Production d'énergie à partir de sources renouvelables et non fossiles

Domaine technologique	Description
Énergie éolienne	Moteurs éoliens (mécanismes pour convertir l'énergie naturelle du vent en énergie mécanique, et transmission de cette énergie jusqu'à son point d'utilisation) ; pâles ; appareils pour contrôler des moteurs éoliens.
Géothermie	Utilisation de la chaleur géothermique ; appareils de production d'énergie mécanique à partir d'énergie géothermique.
Énergie hydraulique	Centrales d'énergie hydraulique (centrales hydroélectriques, turbines hydrauliques, unités submergées intégrant des générateurs électriques, appareils de contrôle des turbines hydrauliques).
Énergie marine	Usine de production d'énergie marémotrice ou houlomotrice ; mécanismes utilisant la conversion de l'énergie thermique des océans ; roues hydrauliques.
Solaire photovoltaïque	Solaire photovoltaïque (conversion de la radiation de la lumière en énergie électrique), incluant des panneaux solaires.
Solaire thermique	Utilisation de chaleur solaire pour le chauffage et le refroidissement.
Énergie nucléaire	Réacteurs nucléaires, réacteurs de fusion, centrales nucléaires.
Biocarburants	Combustibles solides basés sur des matériaux d'origine végétale, (par ex. : le biodiesel ou le bioéthanol) ; moteurs alimentés par ces carburants (chaleur et électricité combinées ou turbines).
Carburants issus de déchets	Combustibles solides basés sur des résidus industriels ou des déchets ; récupération de chaleur par l'incinération de déchets ; production d'énergie à partir de déchets ou de gaz résiduels ; récupération de la chaleur résiduelle de gaz d'échappement.

### 2. Technologies de combustion avec un potentiel d'atténuation (par ex. : utilisation des combustibles fossiles, biomasse, déchets, etc.)

Domaine technologique	Description
Charbon propre	Gazéification du charbon, brûleurs améliorés, combustion en lit fluidisé, amélioration des machines à vapeur, surchauffeurs, turbines à gaz améliorées, Centrale électrique à cycle combiné (CCPP), Turbine à gaz à cycle combiné (CCGT), cogénération, efficacité de combustion ou utilisation de la chaleur (Oxycombustion, etc.), récupération de chaleur.

### 3. Technologies spécifiques à l'atténuation du changement climatique

Domaine technologique	Description
CSC	Captage et stockage du carbone
Captage ou traitement des GES autres que le CO <sub>2</sub>	Élimination des oxydes d'azote (N <sub>2</sub> O), méthane, perfluorocarbures [PFC], hydrofluorocarbures [HFC] ou hexafluorure de soufre [SF <sub>6</sub> ].

#### 4. Technologies avec un potentiel ou une contribution indirecte à l'atténuation des émissions

Domaine technologique	Description
Stockage de l'énergie	Technologies des batteries (au lithium-ion, alcaline secondaire, au plomb) ; les ultracondensateurs, supercondensateurs, condensateurs double couche ; stockage thermique, accumulation par pompage.
Technologie de l'hydrogène	Stockage de l'hydrogène, distribution de l'hydrogène, production de l'hydrogène (par réaction chimique à base d'hydrures métalliques, par décomposition de composés inorganiques, par électrolyse de l'eau ou par photo-électrolyse.
Piles à combustible	Piles à combustible (générateurs électrochimiques dans lesquels les réactifs sont fournis par l'extérieur).
Distribution d'électricité	Technologies pour une production, une transmission ou une distribution d'électricité efficaces.

#### 5. Réduction des émissions et efficacité énergétique dans les transports

Domaine technologique	Description
Véhicules électriques	Véhicules à propulsion électrique ; agencement des batteries.
Véhicules hybride	Système de propulsion hybride comprenant des moteurs électriques et des moteurs de combustions internes.
Efficacité énergétique des moteurs	Dispositif d'injection de carburant pour moteur (permettant une consommation réduite).
Efficacité énergétique - meilleure conception des véhicules	Carrosseries de véhicules rationalisées ; appareils de mesure de la pression des pneus ; éléments de freinage utilisant le mouvement des roues pour accumuler de l'énergie ; adaptation des véhicules pour le contrôle automatique de la vitesse du véhicule.

#### 6. Efficacité énergétique des bâtiments et éclairage

Domaine technologique	Description
Ciment moins énergivore	Ciment à base de pouzzolane ; ciment à base de laitier ; ciments à base de minerai de fer ; ciment à base schistes bitumineux, de résidus ou de déchets ; ciments à base de sulfate de calcium.
Chauffage	Système de chauffage centralisé de l'eau et de l'air utilisant des pompes à chaleurs ; système de récupération d'énergie dans la climatisation, la ventilation ou la filtration ; pompes à chaleur.
Isolation	Éléments ou matériaux utilisés pour l'isolation thermique ; fenêtres à double vitrage.
Éclairage	Lampes fluorescentes compactes ; sources de lumière électroluminescente(LED).



## 7. Efficacité énergétique dans les procédés industriels

Domaine technologique	Description
Production d'aluminium	Four à arc électrique

## 2 : Description et codes du Système harmonisé des biens d'équipement à basse émission carbone prises en compte dans cette étude

Catégorie technologique	Code SH	Description
Énergie hydraulique	841011	Turbines et roues hydrauliques, d'une puissance n'excédant pas 1 000 kW.
	841012	Turbines et roues hydrauliques, d'une puissance excédant 1 000 kW mais n'excédant pas 10 000 kW.
	841013	Turbines et roues hydrauliques, d'une puissance excédant à 10 000 kW.
	841090	Parties des turbines et des roues hydrauliques (y compris les régulateurs) de 8410.11-8410.13.
Énergie nucléaire	840110	Réacteurs nucléaires.
	840120	Machines et appareils pour la séparation isotopique et leurs parties.
	840140	Parties de réacteurs nucléaires.
Solaire photovoltaïque	854140	Dispositifs photosensible à semi-conducteur, incl. les cellules photovoltaïques assemblées en modules ou non, ou constituées en panneaux ; diodes émettrices de lumière.
Solaire thermique	841919	Chauffe-eau non-électriques, à chauffage instantané ou à accumulation (à l'excl. 8419.11).
Énergie éolienne	850231	Groupes électrogènes à énergie éolienne.
Stockage de l'énergie	850710	Accumulateurs électriques au plomb (véhicule).
	850720	Accumulateurs électrique au plomb (à l'exception des véhicules).
	850730	Accumulateurs électriques nickel-cadmium.
	850740	Accumulateurs électriques nickel-fer.
	850780	Accumulateurs électriques.
	850790	Parties d'accumulateurs électriques, incluant les séparateurs.
Véhicules électriques et hybrides	870390	Véhicules principalement conçus pour le transport de personnes (sauf 87.02 et 8703.10-8703.24), avec un moteur à piston à allumage par compression (diesel/semi-diesel), et autres véhicules spéciaux du n° 8703.1087.03.
		Ciments hydrauliques (par ex. : ciment de laitier ou supersulfate), incolore ou sous la forme de clinkers (sauf ciment clinkers, Ciment Portland et de ciment alumineux).
Ciment moins énergivore	252390	
Chauffage	903210	Thermostats.
	841861	Équipement de réfrigération/congélation par compression, dont le condenseur est constitué d'un échangeur de chaleur, de pompes à chaleur autre que les machines de climatisation de 84.15.
	841950	Échangeurs de chaleur, électrique ou non.

**- Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone -**

<b>Catégorie technologique</b>	<b>Code SH</b>	<b>Description</b>
Isolation	680610	Laines de laitier, de scories, de roche et laines minérales similaires, (même mélangées entre elles), en masses/feuilles/rouleaux.
	680690	Mélanges et articles en matières minérales à usage d'isolants thermiques/sonores ou pour l'absorption du son (sauf 68.11/68.12/Ch.69).
	700800	Unités de verre isolant multicouche.
	701939	Nappes, matelas, panneaux et produits similaires non tissés de fibres de verre.
Éclairage	853120	Panneaux indicateurs avec dispositifs à cristaux liquides [LCD] ou à diodes émettrices de lumière [LED].
	853931	Lampes à décharge (sauf lampes à ultra-violets), fluorescents, à cathode chaude.
Transport	860120	Locomotives à accumulateurs électriques.
Efficacité énergétique dans l'industrie lourde	840410	Économiseurs, surchauffeurs, appareils de ramonage ou de récupération des gaz, condensateurs de vapeur ou autres.

**3 : TOP 10 des pays à l'origine d'inventions (2007-2009)**

<b>Rang</b>	<b>Pays</b>	<b>Part des inventions mondiales sur le climat*</b>
1	États-Unis	19,0 %
2	Allemagne	18,7 %
3	Japon	17,5 %
4	Corée du Sud	5,6 %
4	France	4,8 %
6	Royaume-Uni	3,6 %
7	Italie	3,4 %
8	Canada	2,7 %
9	Chine	1,7 %
10	Pays-Bas	1,6 %
	<b>Total du Top 10</b>	<b>78,6 %</b>

**4 : Importations des inventions brevetées en lien avec le climat comme part des importations mondiales (2007-2009)**

<b>Rang</b>	<b>Pays</b>	<b>Part d'importation moyenne</b>
<b>Top 10</b>		
1	États-Unis	23,4 %
2	Chine	15,5 %
3	Office européen des brevets	15,4 %
4	Corée du Sud	10,3 %
5	Japon	9,5 %
6	Canada	8,4 %
7	Australie	6,4 %
8	Mexique	2,2 %
9	Russie	1,3 %
10	Norvège	1,2 %

Pays émergents choisis		
11	Afrique du Sud	1,2 %
14	Argentine	0,7 %
15	Brésil	0,7 %
18	Chili	0,2 %

Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données de la base PATSTAT.

## 5 : Importations des biens d'équipement à faible émission carbone comme part des importations mondiales (2007-2009)

Rang	Pays	Part moyenne d'importation
<b>Top 10</b>		
1	États-Unis	12,1 %
2	Allemagne	8,8 %
3	Chine	8,3 %
4	France	6,0 %
5	Pays-Bas	4,3 %
6	Royaume-Uni	3,3 %
7	Italie	3,2 %
8	Corée du Sud	3,1 %
9	Espagne	3,1 %
10	Belgique	2,7 %
<b>Pays émergents choisis</b>		
16	Inde	1,5 %
19	Russie	1,4 %
32	Brésil	0,7 %
45	Afrique du Sud	0,4 %

Source : Les calculs des auteurs sont basés sur les données du PATSTAT

## 6 : Groupements des pays

Afrique	Algérie, Angola, Bénin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cameroun, Cap Vert, République Centrafricaine, Tchad, Comores, Congo, Côte d'Ivoire, République Démocratique du Congo, Djibouti, Égypte, Guinée Équatoriale, Érythrée, Éthiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Kenya, Lesotho, Liberia, Libye, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritanie, Île Maurice, Maroc, Mozambique, Namibie, Niger, Nigeria, Rwanda, Sao Tome et Principe, Sénégal, Seychelles, Sierra Leone, Somalie, Afrique du Sud, Soudan, Swaziland, Togo, Tunisie, Ouganda, République-Unie de Tanzanie, Sahara Occidental, Zambie, Zimbabwe.
ANASE (Association des nations de l'Asie du Sud-est)	Brunei Darussalam, Cambodge, Dondaine, Laos, Malaisie, Myanmar, Philippines, Singapour, Thaïlande et Vietnam.
Chine	Fait référence à la République Populaire de Chine, Hong Kong inclus
Pays en voie de développement	fait référence à des pays non membres de l'OCDE qui ne font pas parties des pays les moins développés.
Europe de l'Est/Eurasie	Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Biélorussie, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Croatie, Géorgie, Kazakhstan, Kirghizstan, Lettonie, Lituanie, ancienne République yougoslave de Macédoine, Monténégro, République de Moldavie, Fédération de Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine

**- Promouvoir le transfert international des technologies à basse émission carbone -**

	et Ouzbékistan. Pour des raisons statistiques, cette région inclut également Chypre, Gibraltar et Malte.
Amérique latine	Argentine, Belize, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Costa Rica, Cuba, République Dominicaine, Équateur, Salvador, Guatemala, Guyane, Haïti, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Pérou, Suriname, Uruguay, Venezuela.
PMA (pays les moins avancés)	Afghanistan, Angola, Bangladesh, Benin, Bhoutan, Burkina Faso, Burundi, Cambodge, République Centrafricaine, Tchad, Comores, République Démocratique du Congo, Djibouti, Guinée Équatoriale, Érythrée, Gambie, Guinée, Guinée-Bissau, Haïti, Kiribati, République démocratique populaire du Laos, Lesotho, Liberia, Madagascar, Malawi, Maldives, Mali, Mauritanie, Mozambique, Myanmar, Népal, Niger, Rwanda, Samoa, Sao Tome et Príncipe, Sénégal, Sierra Leone, Îles Salomon, Somalie, Soudan, Timor-Leste, Togo, Tuvalu, Ouganda, République-Unie de Tanzanie, Vanuatu, Yémen, Zambie.
Moyen-Orient	Afghanistan, Bahreïn, Iran, Irak, Israël, Jordan, Koweït, Liban, Oman, Qatar, Arabie Saoudite, Syrie, Émirats Arabes Unis, Yémen.
Pays membres de l'OCDE <sup>1</sup>	Australie, Autriche, Belgique, Canada, Chili, République tchèque, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Hongrie, Islande, Irlande, Italie, Japon, Luxembourg, Mexico, Pays-Bas, Nouvelle-Zélande, Norvège, Pologne, Portugal, République de Corée, Slovaquie, Espagne, Suède, Suisse, Turquie, Royaume-Uni, États-Unis.
Autres pays asiatiques en voie de développement	Bangladesh, Bhoutan, Brunei Darussalam, Cambodge, République Populaire de Corée, Pakistan Occidental et Oriental, Indonésie, République démocratique populaire du Laos, Malaisie, Maldives, Mongolie, Myanmar, Népal, Pakistan, Malaisie péninsulaire, Philippines, Sarawak, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande, Timor-Leste, Vietnam.
Autres pays en voie de développement	Tous les pays non-membres de l'OCDE sauf les pays membres de l'ANASE, Chine, Europe de l'Est/Eurasie, Inde et Afrique du Sud.

## 7 : Scénarios considérés par l'AIE dans l'ETP2012

Le **scénario de 6°C (6DS)** est une extension des tendances actuelles. D'ici 2050, l'utilisation de l'énergie va presque doubler (en comparaison avec 2009) et les émissions totales de gaz à effet de serre (GES) vont en plus augmenter. Si aucun effort n'est fait pour stabiliser les concentrations atmosphériques de GES, la température moyenne de la planète augmentera d'au moins 6°C à long terme.

Le **scénario de 4°C (4DS)** prend en compte les récents engagements des pays pour limiter les émissions et faire des efforts pour améliorer l'efficacité énergétique. Il permet de réaliser une première évaluation dans l'ETP 2012 lors des comparaisons entre les scénarios. Projetant une hausse des températures de 4°C, le 4DS est un scénario ambitieux qui requiert des changements importants dans les politiques et les technologies. De plus, le plafonnement de la hausse des températures à 4°C requiert des réductions importantes après 2050.

Le **scénario 2°C (2DS)** est celui étudié par l'ETP 2012. Le 2DS décrit un système énergétique en cohérence avec la trajectoire des émissions qu'une récente recherche scientifique sur le climat indique comme ayant une possibilité de 80 % de limiter la hausse de la température moyenne à 2°C. Il fixe l'objectif de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> par plus de la moitié d'ici 2050 (en comparaison avec 2009) et assure qu'elles continueront à baisser. Le scénario 2DS reconnaît que la transformation du secteur de l'énergie est impérative, mais qu'il existe aussi d'autres solutions : l'objectif peut être atteint uniquement si les émissions de CO<sub>2</sub> et de GES dans les secteurs autres que l'énergie sont également réduites.

(1) Membres en 2007.