

IMPORTANCE DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE DANS LA PROMOTION DE LA CROISSANCE VERTE : CAS DE L'ALGÉRIE

Amel HAMHAMI

Maitre de Conférences

Université de Sidi Bel Abbes, Algérie.

ahamhami83@yahoo.fr

Ahmed SMAHI

Maitre de conférences

Université de Tlemcen, Algérie.

smahis2002@yahoo.fr

Résumé :

La réglementation joue un rôle important dans l'innovation de pratiques et technologies environnementales par les entreprises industrielles. Ainsi, l'objet de ce travail est de montrer que l'écologie industrielle peut être présentée comme une nouvelle pratique du management environnemental. Elle répond aux besoins des entreprises, qui sous la pression des lois, des règlements, des normes et de la concurrence, cherchent à intégrer l'environnement à leurs stratégies.

Cette contribution basée sur ces considérations, se veut une étude sur le terrain menée dans une trentaine d'entreprises industrielles dans différents secteurs d'activités. Pour cela, nous avons proposés aux dirigeants d'entreprises deux modèles industriels qui envisagent des solutions aux problèmes environnementaux. Cette étude a suggéré que le secteur industriel algérien, confronté à des contraintes grandissantes de la part du gouvernement et de la concurrence, devrait adopter les technologies propres et les pratiques de l'écologie industrielle pour apporter des solutions aux problèmes rencontrés.

Mots clés : écologie industrielle, technologies propres, croissance verte,

modèle écologique industriel, analyse matricielle, entreprise industrielle, Algérie.

Introduction :

Pour gérer et protéger son environnement, pour l'utiliser efficacement et durablement, et lorsque la disponibilité d'une ressource venait à diminuer, l'« éco-technologie » ou « clean-technology » est une solution. D'une part, la mise au point de nouvelles techniques permet l'exploitation de ressources inutilisées. D'autre part, le perfectionnement des techniques existantes améliore l'usage des ressources disponibles. Et plus récemment, les économistes débattent sur le sujet de « l'économie de demain » qui consiste à remplacer les énergies fossiles - notamment le gaz et le pétrole avec ses dérivés dont l'essence, le diesel et le fuel - qui dégagent les gaz à effet de serre et dégradent la qualité de l'environnement -, et le nucléaire - qui produit des déchets radioactifs dangereux-, par les énergies renouvelables « éolienne, solaire ou photovoltaïque » respectueuses de l'environnement.

Les pratiques de l'écologie industrielle nécessitent l'innovation des technologies propres qui permettent de réduire les coûts de la protection de l'environnement et elles sont importantes pour la promotion de la croissance verte.

Néanmoins, les innovations se concentrent dans quelques pays développés. Les économistes soulignent un effort croissant dans la promotion des technologies vertes dans les économies émergentes. Dans les pays en développement, le transfert technologique et la R & D adaptative jouent un rôle plus important. Cet écart technologique entre les pays restreint le transfert de technologies vertes. De même, au sein des pays, la diffusion des technologies vertes peut être influencée par les spécificités des contextes. Par exemple, l'accès limité aux marchés des crédits pourrait rendre le financement des technologies vertes difficile dans les pays en développement.

Les défaillances du marché sont un autre facteur qui peut bloquer la diffusion de la technologie. Ainsi, la réglementation environnementale est nécessaire pour encourager l'adoption des technologies end-of-pipe, par exemple, comme solution à la pollution.

Cette réflexion est basée sur une étude empirique. Nous avons analysé la réalité environnementale des entreprises industrielles en proposant une approche de modélisation. Pour cela, nous commençons par une revue de littérature présentant les différents aspects d'un changement technologique environnemental et du transfert de la technologie propres entre les pays développés et les pays en développement. Nous entamons par la suite les deux modèles de l'écologie industrielle étudiés dans l'approche empirique. Le modèle de la matrice des préférences qui a montré l'importance de l'investissement dans la technologie verte et la production propre par rapport à la taxe environnementale liée à la production polluante des entreprises. Le deuxième modèle étudié est le modèle industriel vert

« Les 3R ». Nous avons constaté que ce modèle est plus adapté à nos entreprises. Les dirigeants rencontrés l'ont choisi parce qu'il permet de diagnostiquer et analyser la réalité environnementale de l'entreprise.

I. Revue de littérature :

Les innovations environnementales des entreprises se définissent comme les « techniques, procédés et produits qui permettent d'éliminer ou de diminuer les émissions polluantes et/ou l'utilisation de matières premières, de ressources naturelles et d'énergie. Nous considérons qu'elles existent dès lors qu'une organisation diminue de façon significative les risques environnementaux, que l'amélioration soit ou non déjà présente sur le marché » (Alonso-Ugaglia et al., 2012). Le degré de nouveauté est ainsi évalué par rapport à l'entreprise.

Les démarches environnementales peuvent se décliner en différents types d'innovations et être développées dans un but explicite ou non.

Théoriquement, une distinction des innovations environnementales différencie les innovations de bout de chaîne (end-of-pipe) assimilées à des démarches curatives permettant de corriger une pollution déjà existante et relèvent essentiellement d'un traitement des pollutions, des innovations dites propres (démarche préventives ou éco-conception) agissant directement à la source des pollutions.

En parallèle, une distinction évolutionniste entre innovation incrémentale -mettant en jeu des améliorations continues des pratiques productives- et innovation radicale -fortement marquée par la discontinuité et provoquant de véritables ruptures technologiques et cognitives-

Porter et van der Linde (1995) montrent comment les entreprises, sous la pression sociale et les exigences réglementaires, améliorent leurs performances économiques

et environnementales grâce au développement d'innovations environnementales. Les actions innovantes leur permettent de protéger non seulement l'environnement mais également de saisir de nouvelles opportunités commerciales (win win effects). La dynamique d'innovation est, à terme, capable de réaliser des profits permettant de couvrir les coûts de mise en conformité et peut être source d'avantage concurrentiel grâce à l'existence d'effets de compensation : des effets liés aux innovations de procédés qui se traduisent en une amélioration de la productivité, d'une part, et des effets liés aux innovations de produits qui entraînent une amélioration de la qualité du produit, d'autre part. L'adoption d'innovations environnementales permet à l'entreprise de baisser le coût ou de réaliser des profits (Popp, 2012), elle permet également, la réduction de ses impacts environnementaux.

I.1. Les étapes du changement technologique environnemental :

Déterminer les étapes du changement technologique permet d'examiner les liens entre le changement technologique, la politique environnementale et la performance économique.

Le changement technologique s'effectue en trois étapes, à chaque étape, les incitations réglementaires influencent le développement et l'adoption de nouvelles technologies :

Etape 1 : l'Invention : une idée doit être née, l'invention est « toute nouveauté technique obtenue à l'issue d'un processus actif de développement. L'invention est une construction artificielle, contrairement à la découverte » (Corbel, 2009).

Etape 2 : l'Innovation: de nouvelles idées sont ensuite développées en produits

commercialement viables. Souvent, ces deux étapes du changement technologique sont liées à la recherche et développement (R & D).

Etape 3 : la Diffusion: pour avoir un effet sur l'économie.

Pour mesurer le changement technologique environnemental, les données de la recherche et développement (R & D), qui est un intrant dans le processus d'innovation, offrent une mesure directe de l'activité d'innovation. Cependant, comme la R & D est une entrée, des mesures de l'effort de R & D ne donnent aucune information sur les résultats du processus d'innovation. En outre, les brevets¹ qui représentent une innovation qui va être commercialisée, sont un bon indicateur de l'activité de R&D et ils offrent des informations détaillées sur chaque invention (Popp, 2012). En effet, les entreprises sont plus susceptibles d'utiliser des brevets pour protéger les nouveaux produits que les procédés nouveaux.

Les publications scientifiques peuvent être également utilisées. Elles permettent de mesurer la recherche aux premiers stades du développement de la technologie. En particulier, ces données peuvent être utilisées dans le secteur public et les secteurs à but non lucratif qui s'intéressent moins à l'obtention des brevets.

I.2. Le transfert de technologies environnementales entre les pays développés et les pays en développement :

¹ Corbel (2009) définit les brevets d'invention comme « des titres de propriété sur une invention technique donnant à son propriétaire un droit d'exclusivité sur son exploitation pendant une durée maximale de vingt ans ».

I. 2.1. L'écart technologique entre les pays développés et les pays en développement :

D'après une étude de la banque mondiale au Moyen-Orient et l'Afrique du Nord sur les coûts de la dégradation de l'environnement concernant : la pollution de l'air intérieur et extérieur, la rareté des ressources d'eau et d'assainissement, la dégradation des sols, la dégradation des zones côtières et l'élimination des déchets solides. Ces coûts varient de 2% du PIB en Tunisie à 7% du PIB en Iran (Dasgupta et al., 2008). Ces coûts de la pollution suggèrent que la croissance verte vise à encourager le développement économique. En utilisant les données de brevets des États-Unis, du Japon, de l'Allemagne, et 14 pays à faible et moyen revenu, Lanjouw et Mody (1996) ont étudié le changement technologique pour une variété de technologies respectueuses de l'environnement. Ils ont constaté que l'innovation augmente à mesure que les dépenses de la réduction de la pollution augmentent dans les pays.

Selon Popp (2012), la R & D mondiale se concentre dans quelques pays développés. En 2007, les dépenses globales en R&D avaient un montant estimé à 1,107 trillions, les pays de l'OCDE représentent 80 pour cent, les États-Unis et le Japon 46 pour cent et parmi les pays non-OCDE, la Chine 9 pour cent. Les estimations de la R & D ont permis de classer l'Inde et le Brésil parmi les 15 premiers pays exécutant la R&D dans le monde.

Dechezleprêtre et al. (2011) ont trouvé que dans les économies émergentes, la Chine, la Corée du Sud, la Russie et le Brésil représentaient 18,5% des innovations respectueuses du climat de 2000 à 2005, mesurées par les brevets. Cependant, les innovations les plus répandues en Chine, en

Corée du Sud, en Russie et en Brésil sont des technologies conçues principalement pour les marchés locaux. En conséquence, les technologies les plus utilisées à l'échelle mondiale, mesurées par le pourcentage de brevets déposés dans plusieurs pays, sont presque toutes issues des pays développés.

Les brevets sont généralement financés par des investissements privés en R & D. Les données sur la R & D financées par les gouvernements montrent que les économies émergentes commencent à intensifier leurs efforts relatifs à la R & D en énergie. Gallagher et al. (2011) ont étudié les dépenses publiques dans la R & D dans les pays industrialisés et six économies émergentes: Brésil, Russie, Inde, Mexique, Chine, et l'Afrique du Sud. Les gouvernements des économies industrialisées ont dépensé 12 milliards de dollars US dans la R & D en énergie en 2008, par rapport à 13,8 milliards de dollars US dans les pays émergent (dont 11,8 milliards de dollars US concerne la Chine). Néanmoins, dans les pays industrialisés et les économies émergentes, la plupart de ces dépenses concernent les investissements dans les sources des énergies traditionnelles, comme les combustibles fossiles et l'énergie nucléaire.

Il existe une littérature riche concernant les innovations environnementales dans les pays développés, qui ont montré que l'intensité de la réglementation favorise l'innovation. En revanche, peu de travaux ont étudié le rôle de la R & D dans les pays en développement. Les technologies nécessaires sur les marchés des pays en développement peuvent différer de celles créées dans les pays développés. Les économies émergentes qui ont démontré leurs capacités en R&D et les pays en développement sont capables de jouer un rôle majeur pour combler cette lacune.

Popp (2012) a étudié les innovations dans les technologies hors réseau électrique et a montré que la R & D dans les économies émergentes peut fournir des technologies de nécessité dans le monde en développement et les pays développés en présence de marchés limités dans ces derniers pour cette technologie.

I.2.2. Le rôle des politiques technologiques et environnementales :

La politique publique joue un rôle important dans l'incitation au développement et à la diffusion de technologies vertes, d'une part, et pour faire face aux défaillances du marché, d'autre part.

Les forces du marché ne favorisent pas suffisamment l'investissement dans le développement ou la diffusion de technologies respectueuses de l'environnement. Les économistes soulignent deux défaillances du marché.

La première défaillance qui ralentit l'innovation environnementale, est le problème classique des externalités environnementales. Parce que le prix de la pollution n'est pas considéré par le marché, les entreprises et les consommateurs n'ont aucune incitation à réduire les émissions sans une intervention politique. Il est vrai qu'il y aura probablement des mesures incitatives pour développer des technologies propres, même sans interventions politiques, si les avantages secondaires des innovations environnementales apparaissent. Par exemple, la réduction de la consommation énergétique dans les procédés industriels ne réduit pas seulement les émissions, mais elle diminue également les coûts de production.

La deuxième défaillance du marché se rapporte à l'évolution technologique et la nature de la connaissance. En effet,

l'externalisation de la connaissance incorporée dans l'invention, apporte des avantages à la population, mais pas à l'innovateur malgré ses Droits de Propriété Intellectuelle (DPI). En conséquence, les entreprises privées ne fournissent pas les informations concernant le niveau de leurs activités de recherche et développement. De même, les sociétés multinationales minimisent l'externalisation des connaissances lors des transferts technologiques.

Déterminer le rôle des droits de propriété intellectuelle pour les innovations vertes est très nécessaire. Alors que les DPI encouragent l'innovation, ils ralentissent également le transfert des innovations existantes aux pays en développement (Popp, 2012).

Toutefois, Hall et al. (2010), Copenhagen Economics (2009) et Barton (2007) suggèrent que les politiques des pays en développement telles que les tarifications sur les technologies des énergies renouvelables et les subventions des combustibles fossiles sont considérées comme des limites pour le transfert de technologies propres plus que les DPI. Selon ces auteurs, les DPI encouragent le transfert technologique vers les pays ayant une certaine capacité d'absorption appropriée.

En outre, d'autres défaillances du marché concernant les marchés du crédit ou l'accès à l'information, peuvent ralentir la diffusion de la technologie.

En raison de ces défaillances du marché, la nécessité d'un équilibre entre la politique technologique et la politique environnementale joue le rôle de promouvoir le transfert technologique. La politique technologique - telle que les crédits pour les taxes d'investissement et les subventions à la R&D - permet de

protéger les innovateurs de l'externalisation des connaissances. La politique environnementale considère les pollueurs responsables des dommages environnementaux, ce qui augmente la demande pour les technologies vertes.

Cependant, dans les pays en développement, l'objectif de la politique technologique consiste généralement à attirer le transfert technologique, externaliser les connaissances et encourager la R & D adaptative pour les technologies existantes, plutôt que de promouvoir le développement de nouvelles technologies (Popp, 2012).

Schneider et al. (2008) proposent quatre obstacles au transfert de technologies écologiquement durables :

- 1- le manque des opportunités commerciales,
- 2- le manque d'information,
- 3- le manque d'accès au capital, et
- 4- l'absence du cadre institutionnel et des droits de propriété intellectuelle.

Ces auteurs mettent l'accent sur le cadre institutionnel, ils constatent que « l'inexistence d'un cadre réglementaire dans la plupart des pays en développement et les coûts d'investissement très élevés réduisent habituellement l'intérêt pour les projets (énergie solaire) dans les pays en développement » (Schneider et al., 2008).

D'une part, la réglementation environnementale encourage à la fois l'innovation et l'adoption des technologies de l'environnement. D'autre part, la disponibilité de la technologie elle-même peut aider à la mise en œuvre de la régulation.

II. Les modèles de l'écologie industrielle :

II.1. Le modèle matriciel :

Développées par Fadaee et Lambertini (2012), cette analyse matricielle permet de déterminer les préférences entre investir

dans la technologie propre et produire propre, ou payer la taxe environnementale liée à l'activité polluante des entreprises.

II.1.1. Objectif de l'Analyse Matricielle (A.M) :

L'Etat impose une écotaxe sur l'activité polluante des entreprises industrielles qui ne sont pas motivées à investir volontairement dans les technologies respectueuses de l'environnement en raison des coûts considérables que nécessitent ces investissements.

Cependant, est-il vrai qu'imposer de plus en plus de taxes liées à l'environnement encourage les entreprises à investir dans l'écotechnologie ?

II.1.2. Le modèle :

En assurant que, l'équilibre entre les entreprises, l'impact sur le consommateur et les préférences sociales soient acceptés. Nous considérons deux entreprises productives notées $i = 1, 2$ qui produisent le même produit homogène avec le même coût marginal.

Au début, les deux entreprises partagent la même technologie polluante, de sorte que la production du dernier output crée une externalité négative sous la forme d'émissions polluantes.

Nous supposons que pour atténuer les dommages environnementaux de cette technologie, l'Etat introduit une réglementation selon la quelle si l'entreprise veut produire, elle ne doit pas polluer l'environnement, ou elle doit payer l'écotaxe fixée par le règlement seulement pour une entreprise.

Par conséquent, les propositions suivantes sont possibles pour chaque entreprise :

- Elle peut choisir de payer l'écotaxe : chaque entreprise a la probabilité de $P = 1/2$ de

pouvoir accédée à l'écotaxe.

Nous supposant que le montant de la taxe X versée à l'Etat sera redistribué aux consommateurs, et que l'effet total de cet argent sur le bien-être des consommateurs est nul.

Alternativement,

- L'entreprise peut investir un montant K pour acquérir, transférer ou adopter une

technologie verte avec une probabilité $\alpha \in [0,1]$. Si c'est le cas, l'entreprise a le droit de produire car sa technologie est maintenant propre. Si, au contraire, le projet d'investissement ne donne aucun résultat, l'entreprise dépossède K, elle encourt un coût fixe C pour quitter le marché.

Si les deux entreprises choisissent d'investir dans la technologie verte, elles seront toutes les deux libérées de l'écotaxe imposée par l'Etat.

Par conséquent, désignant le choix de la taxe par T et la technologie verte par V, nous avons 2X2 cadres présentés dans la matrice 1.

		T	V
T		$E\pi^{TT}, E\pi^{TT}$	$E\pi^{TV}, E\pi^{VT}$
V		$E\pi^{VT}, E\pi^{TV}$	$E\pi^{VV}, E\pi^{VV}$

Matrice 1

Où $E\pi^{TT}$, $E\pi^{TV}$, $E\pi^{VT}$ et $E\pi^{VV}$ sont les entreprises qui cherchent à réaliser un profit lorsque :

- les deux entreprises choisissent l'écotaxe,
- l'une investit dans la technologie verte alors que l'autre choisit l'écotaxe,
- ou les deux investissent dans la technologie verte.

Dans tous les cas, le coût marginal de production reste le même, la seule différence entre les deux technologies étant que l'une est propre et l'autre ne l'est pas.

Scénario1 :

Considérant que les deux entreprises choisissent l'écotaxe qui sera attribuée à une seule entreprise, dans ce cas, les deux entreprises participent à une loterie et celle qui sera choisie bénéficiera de l'écotaxe et d'un monopole de profits, alors que l'autre, ne reçoit pas de revenus et encourt aussi un coût fixe C. Par conséquent, le profit individuel attendu dans ce cas est :

$$E\pi^{TT} = \frac{\pi_M - X - C}{2} \tag{1}$$

Où π_M est le bénéfice brut du monopole.

Pour que $E\pi^{TT} > 0$ ce la exige que $\pi_M > X+C$

Scénario 2 :

Considérant que les deux entreprises préfèrent investir dans la technologie propre. Le bénéfice attendu pour chaque entreprise est :

$$E\pi^{VV} = -K + \alpha [(1-\alpha)\pi_M + \alpha\pi_D] - (1-\alpha)C \dots\dots\dots(2)$$

Cette expression comprend les coûts de l'investissement et π_M et π_D ;

π_M : bénéfice brut du monopole, si une entreprise réussit dans son investissement plus que l'autre.

π_D : bénéfice brut du duopole, si les deux entreprises réussissent dans leurs investissements.

Notons que $\pi_D < \pi_M$

Scénario 3 :

Considérant qu'une entreprise choisit l'écotaxe et l'autre l'investissement dans la technologie propre. Comme l'entreprise qui choisit l'écotaxe est la seule à payer la taxe, son profit attendu est :

$$E\pi^{TV} = -X + (1-\alpha)\pi_M + \alpha\pi_D \dots\dots\dots(3)$$

Scénario 4 :

En effet, $E\pi^{TV}$ dépend de l'entreprise concurrente si elle réussit son investissement ou pas, la taxe maximale à payer ne peut pas dépasser $(1-\alpha)\pi_M + \alpha\pi_D$

Dans ce scénario, le profit attendu pour l'entreprise qui investit dans la technologie propre est :

$$E\pi^{VT} = -K + \alpha\pi_D - (1-\alpha)C \dots\dots\dots(4)$$

La structure du modèle se présente en deux phases, la première décrit le choix de l'entreprise entre l'écotaxe et l'investissement vert, et la deuxième phase concerne la structure et le comportement du marché.

Les mouvements présentés dans les quatre scénarios se passent dans les deux phases, tandis que les stratégies adoptées sont observées dans la première phase avant de passer à la deuxième phase.

● **Du point de vue consommateurs :**

Nous allons maintenant étudier le niveau de surplus de consommation généré pour le consommateur (par la redistribution de X) :

Première perspective : (V, V)

Le surplus prévu pour le consommateur est le montant total des surplus de la consommation dans le cas d'un monopole (si les deux entreprises investissent, l'une

réussit dans l'adoption et la maîtrise de la technologie propre, alors que l'autre ne réussit pas) et d'un duopole (si les deux entreprises réussissent leur investissement vert) :

$$ECS^{VV} = 2\alpha(1-\alpha)CS_M + \alpha^2CS_D \dots\dots\dots(5)$$

Où CS_M et CS_D sont les niveaux de surplus de la consommation dans un monopole et un duopole, respectivement.

Deuxième perspective (T, V) ou (V, T) :

Si une entreprise paye l'écotaxe et l'autre investit dans la technologie propre, le surplus prévu pour le consommateur sera :

$$ECS^{TV} = ECS^{VT} = (1-\alpha)CS_M + \alpha CS_D - (1-\alpha)E_M - \alpha E_D \dots\dots\dots(6)$$

Où E_M et E_D sont des externalités négatives sur le consommateur générées par l'activité industrielle d'une entreprise dans le cas d'un monopole (E_M), et dans le cas d'un duopole asymétrique où une seule entreprise parmi les deux crée des externalités négatives ($E_D < E_M$).

Troisième perspective (T, T) :

Si les deux entreprises choisissent l'écotaxe, cette taxe sera attribuée à l'entreprise choisie aléatoirement dans la loterie. L'entreprise qui paye l'écotaxe, présentant une technologie polluante, crée évidemment des externalités négatives pour les consommateurs :

$$ECS^{TT} = CS_M - E_M \dots\dots\dots(7)$$

En comparant ces fonctions, nous avons :

$$\Delta_{CS}^{VT, TT} = ECS^{VT} - ECS^{TT} = \alpha [CS_D - CS_M + E_M - E_D] \dots\dots\dots(8)$$

$$\Delta_{CS}^{VV, VT} = ECS^{VV} - ECS^{VT} = (1-\alpha) [(2\alpha - 1)CS_M - \alpha CS_D + E_M - E_D] + E_D \dots\dots(9)$$

$$\Delta_{CS}^{VV, TT} = ECS^{VV} - ECS^{TT} = [2\alpha(1-\alpha) - 1]CS_M + \alpha^2CS_D - E_M \dots\dots\dots(10)$$

Puisque $CS_D > CS_M$ et $E_M > E_D$

Nous montrons que $\Delta_{CS}^{VT, TT} > 0$, ce qui signifie que le consommateur préfère la perspective où une entreprise choisit

l'investissement vert plutôt que la perspective où les deux entreprises choisissent l'écotaxe.

Pour les deux expressions (9) et (10), nous trouvons qu'autant que α augmente $\Delta_{CS}^{VV, VT}$ et $\Delta_{CS}^{VV, TT}$ augmentent en parallèle, et pour une grande valeur de α , ils deviennent positifs. Par conséquent, alors que du point de vue consommateur avoir une entreprise qui investit dans la technologie propre et l'autre qui choisit l'écotaxe est beaucoup plus intéressant que d'avoir deux entreprises qui choisissent de polluer et payer l'écotaxe ; le consommateur ne préfère pas l'idée que les deux entreprises négligent l'écotaxe et investissent symétriquement dans la technologie propre à moins que la probabilité de la réussite de l'investissement vert soit suffisamment élevée.

Après avoir caractérisé les préférences des consommateurs concernant le comportement stratégique des entreprises, nous allons évaluer le rôle du coût de l'investissement vert K pour déterminer s'il existe une série de paramètres où les incitations sociales et privées sont réciproquement alignées.

● **Analyse de l'équilibre :**

Nous caractérisons le modèle d'un équilibre parfait dans une activité non coopérative entre les deux entreprises basé sur l'examen de la matrice 1. Le modèle du comportement stratégique des entreprises est essentiellement déterminé par la probabilité α ainsi que les montants relatifs des coûts X et K .

D'après (1), (2), (3) et (4) nous avons:

$$\Delta_{\pi}^{VT, TT} = E\pi^{VT} - E\pi^{TT} = 1/2 (X - \pi_M) + \alpha \pi_D - (1/2 - \alpha) C - K \dots\dots\dots (11)$$

$$\Delta_{\pi}^{VV, TV} = E\pi^{VV} - E\pi^{TV} = X - (1 - \alpha)^2 \pi_M - \alpha (1 - \alpha) \pi_D - (1 - \alpha) C - K \dots\dots\dots (12)$$

$$\Delta_{\pi}^{VV, TT} = E\pi^{VV} - E\pi^{TT} = 1/2 X - (1/2 - \alpha (1 - \alpha)) \pi_M + \alpha^2 \pi_D - (1/2 - \alpha) C - K \dots (13)$$

D'après les expressions (11), (12) et (13) pour toute valeur de α nous avons :

$$\Delta_{\pi}^{VV, TT} > \Delta_{\pi}^{VT, TT} \dots\dots\dots (14)$$

dans tous les cas

Cela signifie que chaque entreprise trouve que si elle investit dans la technologie verte alors que sa concurrente paye l'écotaxe est beaucoup plus rentable que si les deux entreprises choisissent l'écotaxe, certainement, elles préfèrent la symétrie (V, V) plutôt que la symétrie (T, T).

Si $\Delta_{\pi}^{VV, TT} > 0$ et $\Delta_{\pi}^{VT, TT} < 0$, une entreprise paye l'écotaxe, et l'autre investit dans la technologie propre.

Et si $\Delta_{\pi}^{VV, TT} > 0$ et $\Delta_{\pi}^{VT, TT} > 0$, par conséquent, $E\pi^{VV} > E\pi^{VT}$ et (V, V) est l'optimum de Pareto de la Matrice 1.

Nous avons également pour l'expression (12) :

Si $X - K$ est assez élevé (le coût de l'investissement dans la technologie verte est suffisamment inférieur au coût de la taxe) donc $\Delta_{\pi}^{VV, TV} > 0$, les deux entreprises trouvent qu'il est rentable d'investir dans la technologie propre et (V, V) est l'optimum de Pareto de la Matrice 1. Si au contraire, $X - K$ est suffisamment faible, $\Delta_{\pi}^{VT, TT} < 0$, l'équilibre de ce modèle sera (T, T).

Dans le dernier cas où $\Delta_{\pi}^{VV, TV} < 0$ et $\Delta_{\pi}^{VT, TT} > 0$, il s'agit d'un équilibre asymétrique tout au long du diagonal II déterminant une zone de paramètres où C et α sont suffisamment importants ; dans ce cas, une entreprise paye l'écotaxe, et l'autre investit dans la technologie propre.

Cependant, en dehors de cette zone (diagonal I et III) des équilibres symétriques (V,V) ou (T,T) sont observables.

Pour une grande valeur de α , nous avons $\Delta_{\pi}^{VV, TV} > \Delta_{\pi}^{VT, TT}$. Si $\Delta_{\pi}^{VT, TT} > 0$

l'optimum de Pareto de la Matrice 1 est (V, V).

Si au contraire $\Delta_{\pi}^{V, V, TV} < 0$, l'optimum de Pareto de la Matrice 1 est (T, T).

Dans un autre cas où $\Delta_{\pi}^{VT, TT} < 0$ et $\Delta_{\pi}^{VV, TV} > 0$, cela signifie une coordination entre les deux équilibres de la zone I et III du modèle où les deux entreprises payent l'écotaxe ou les deux investissent dans la technologie verte (T,T) ou (V,V).

D'après ces équilibres symétriques dans la zone I et III et pour une grande valeur de α , nous avons $E\pi^{V, V} > E\pi^{TT}$, donc, les deux entreprises préfèrent la symétrie (V, V) plutôt que la symétrie (T, T), l'optimum de Pareto du modèle est (V, V).

● **L'optimum social :**

Nous allons mettre en évidence les préférences des consommateurs et les incitations des entreprises afin d'évaluer les préférences sociales en fonction des niveaux de bien-être prévus selon trois cas possible :

Etant donné que les montants de la taxe, une fois réglés, seront redistribués aux consommateurs ; les préférences sociales vont être évaluées que sur la base de K (et non de X).

Ainsi, le montant prévu du bien-être social dans chaque cas est le suivant :

$$ESB^{V, V} = - 2K + 2 \alpha (1- \alpha) SB_M + \alpha^2 SB_D - 2 (1- \alpha) C \dots\dots\dots (15)$$

$$ESB^{TV} = ESB^{VT} = - K + (1- \alpha) SB_M + \alpha SB_D - (1- \alpha) E_M - \alpha E_D - (1-\alpha) C \dots\dots (16)$$

$$ESB^{TT} = SB_M - E_M - C \dots\dots (17)$$

Où SB_M et SB_D sont les niveaux du bien-être social (le brut des effets des externalités) dans le cas d'un monopole ou duopole, respectivement.

Sachant que : $SB_D > SB_M$ et $E_D < E_M$, en comparant (15), (16) et (17), nous pouvons caractériser les courbes inférieures et

supérieures des préférences sociales dans l'espace (α , K)

Le bien-être social est plus élevé dans VV, TV (ou VT) et TT dans l'espace (α , K) tant que les coûts de K baissent dans les régions I, II, III, respectivement.

Les entreprises concernées encourent un coût important pour quitter le marché, dans ce cas $C > 0$, il existe une zone de paramètres où les incitations privées et sociales génèrent un équilibre asymétrique socialement efficient dans lequel $E\pi^{VT} > E\pi^{TT}$ et $E\pi^{TV} > E\pi^{VV}$.

$E\pi^{VT} > E\pi^{TT}$ et $E\pi^{TV} > E\pi^{VV}$ signifie que les entreprises préfèrent l'asymétrie (V, T) ou (T, V) plutôt que la symétrie (V,V), (T, T) dans cette zone de paramètres.

Tandis que en dehors de cette zone de paramètres, le bien être-social d'une symétrie est plus important que le bien être social d'une asymétrie, et les entreprises préfèrent la symétrie (V, V) plutôt que la symétrie (T, T).

Dans les régions I, II, III, les préférences sociales et les incitations privées préfèrent (V, V), (T, V) ou (V, T) et (T, T) respectivement.

L'analyse du modèle montre que s'il existe $C > 0$, il existe une zone de paramètres où les incitations sociales et privées sont alignées de telle sorte qu'au moins une entreprise parmi les deux préfère investir dans la technologie verte. Cela montre que l'écotaxe peut être un moyen qui incite - indirectement- les entreprises industrielles à adopter des technologies propres et donc à réduire leurs impacts environnementaux à long termes.

D'autre part, la mise en œuvre par les entreprises industrielles d'une alternative qui consiste en l'adoption d'une technologie propre est plus efficiente que de polluer et payer l'écotaxe. Néanmoins,

selon les propos des industriels rencontrés, le secteur industriel Algérien est caractérisé par certaines spécificités - liées à des contraintes financières, productives et commerciales- différentes de celles observées dans les pays développés, ce qui nécessite l'élaboration d'un modèle éco-industriel plus adapté.

II.2. Le modèle industriel vert « Les 3R » :

Ce modèle d'écologie industrielle a été proposé en second lieu afin d'apporter des solutions aux problèmes rencontrés par les dirigeants.

II.2.1. Apparition de l'écologie industrielle :

L'année 1987 coïncide avec deux évènements, la date de parution du rapport des Nations Unies (World Commission on Environment and Development, WCED, 1987), « Our Common Futur », plus connu sous le nom de rapport Brundtland. Le développement est dit durable s'il « *répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs* ». L'année 1987, c'est également la date de parution de la notion d'écologie industrielle.

L'écologie industrielle est issue de la communauté des ingénieurs et cherche à apporter une réponse opérationnelle à la question du développement durable (Kabongo, 2004).

En se situant dans le cadre de l'innovation schumpéterienne, plus précisément celui du caractère évolutionniste du processus capitaliste : « *l'impulsion fondamentale qui met et maintient en mouvement la machine capitaliste est imprimée par les nouveaux objets de consommation, les nouvelles méthodes de production et de transport, les nouveaux marchés, les nouveaux types d'organisation industrielle, tous éléments*

créés par l'initiative capitaliste » (Schumpeter, 1954 in Diemer, 2012). La technologie et l'innovation peuvent être présentées comme le cœur du développement durable et l'unique réponse aux problèmes environnementaux.

II.2.2. Le modèle :

Nous avons analysé les opportunités des entreprises à optimiser leurs modèles industriels existants en proposant aux dirigeants le modèle écologique industriel « Les 3R »² : Recycler, Réutiliser, Réduire. Nous présentons l'impact de ce modèle sur l'activité des entreprises industrielles comme suit :

² Ce modèle industriel a été élaboré par De Backer (2005)

Les 12 défis environnementaux :						
L'épuisement des ressources naturelles, - L'épuisement des matières premières, - L'épuisement des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) Les mutations énergétiques L'eau (en quantité et en qualité) La biodiversité et l'utilisation des terres Les produits toxiques chimiques et les métaux lourds La pollution atmosphérique La gestion et la valorisation des déchets La diminution de la concentration en ozone stratosphérique La déforestation Les changements climatiques Les océans menacés Les menaces environnementales sur la santé						
Au niveau de l'entreprise						
Mesure	Variables	Les 3R	Energies	Matières	Process	produits
Energies	Consommation énergétique Energie renouvelable utilisée produite ou achetée	Opportunité de Réduire Opportunité de Réutiliser Opportunité de Recycler				
Eau	Eau totale utilisée Pollution de l'eau					
Déchets	Déchets dangereux Déchets solides Matériaux recyclés					
Air	Emission de gaz à effet de serre Dégagement de métaux lourds et produits chimiques toxiques Emission de particules Emission de composés organiques volatils Emission d'oxydes de soufre Emission d'oxydes d'azote					
Conformité	Avis de violation Taxe, amende et pénalité payées Certification de conformité environnementale.					

Figure 1 : impact du modèle industriel vert « Les 3R » sur l'activité de l'entreprise

Source : réalisée par l'auteur d'après la littérature

Les menaces et les contraintes ainsi que les défis environnementaux³ qu'imposent à l'activité des industries obligent ces derniers à optimiser leurs modèles

économiques existants. Ainsi, le modèle industriel proposé ci-dessus « les 3R » peut être une solution qui apporte des avantages concurrentiels et des bénéfices pour les entreprises industrielles qui l'adoptent. Dans bon nombre des cas (68%), les

³ Ces 12 défis environnementaux ont été élaborés par Brabec (2004)

responsables ci-avant mentionnés comptent parmi les gestionnaires qui connaissent bien les pratiques de « l'écologie industrielle » et qui y travaillent depuis au moins quelques années.

En effet, les décideurs doivent relever un défi qui consisterait à placer l'innovation et la technologie au cœur de leurs stratégies, en apportant un ensemble de pratiques destinées à réduire la pollution industrielle dans le cadre d'un développement durable :

- 1) Valoriser les déchets ;
- 2) Boucler les cycles en minimisant les rejets ;

3) Dématérialiser les produits (accroître la productivité des ressources) ;

4) Procéder à la décarbonisation de l'énergie (évolution vers un système industriel moins gourmand en énergie fossile).

• **Réalité environnementale des entreprises étudiées :**

Les données mobilisées dans le travail empirique ont permis de déterminer les activités environnementales menées et qui reflètent la réalité environnementale de ces entreprises (voir tableau ci-dessous).

Typologie des démarches environnementales		Nombre de démarches
Démarches de sensibilisation et certification (26)	L'entreprise incite ses salariés et partenaires économiques à adopter des démarches environnementales.	16
	Mise en place d'un Système de Management Environnemental (SME).	10
Pratiques d'écologie industrielle		Nombre de démarches
Démarches curatives : « en bout de chaîne ou en aval » Traitement de la pollution et gestion des déchets (67)	Les déchets sont rejetés et prélevés par le service public	11
	La collecte et le tri des déchets sont réalisés.	17
	La gestion des déchets est déléguée à un prestataire.	9
	L'entreprise revalorise elle-même une partie de ses déchets.	20
	L'entreprise vend ses déchets à un prestataire qui se charge de les revaloriser.	10
Démarches préventives : « en amont » Limitation de la pollution à la source (17)	Innovation autonome affectant un sous-ensemble des activités. Adoption de pratiques moins polluantes. Modification du processus, adaptation des procédés, pour rationalisation de la production.	10
	Réduction de la consommation énergétique et/ou l'investissement dans les énergies renouvelables.	7
Démarches d'éco-conception : Changement de paradigme et rupture technologique (04)	Innovations systémiques impliquant la modification de l'ensemble du processus de production. Prendre en compte des critères environnementaux dès la phase de conception du produit jusqu'à son utilisation et sa fin de vie (prendre en compte l'ensemble du cycle de vie du produit jusqu'au recyclage).	4
Non renseigné		3
Total Démarches		117

Tableau 1 : démarches environnementales menées par les entreprises

Source : réalisé par l'auteur

La dynamique environnementale des entreprises - l'ensemble des démarches environnementales mises en place à court, moyen ou long terme – se caractérise par des pratiques d'écologie industrielle (traitement de la pollution et gestion des déchets, limitation de la pollution à la

source et l'éco-conception) qui priment sur les autres types de démarches (sensibilisation et certification).

L'analyse de ces données révèle bien l'importance de ce modèle écologique pour les industriels. En effet, la contrainte environnementale recommande aux

industriels de procéder à un ensemble d'opérations de rationalisation de la production : optimisation des consommations énergétiques et matérielles, minimisation des déchets à la source, réutilisation des déchets pour servir de matières premières à d'autres processus de

production... Dès lors, si la technologie consiste à apporter une solution « technique » au recyclage et réduction des déchets, elle devra être nécessairement associée à une innovation organisationnelle pour constituer une véritable réponse au défi environnemental.

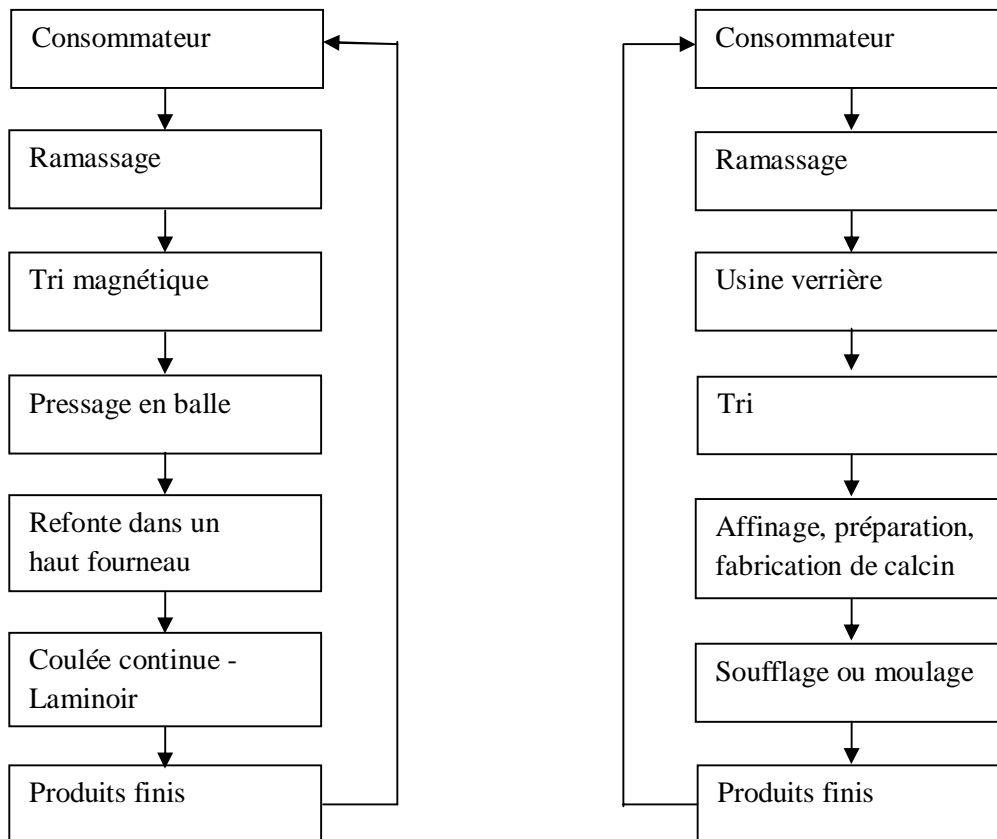


Figure 2 : processus de traitement et recyclage des déchets

Source : réalisée par l'auteur

Le traitement et le recyclage des déchets constituent, pour les entreprises, un enjeu important. Il s'agit à la fois d'économiser de la matière première (développement de l'éco-conception et de l'éco-production) et de réduire le volume des rejets (principe de la responsabilité élargie des producteurs, amélioration du tri-sélectif, filières de recyclage).

Le recyclage des déchets cherche à donner une seconde vie aux produits finis. Dans le cas de l'aluminium par exemple, le recyclage permet d'économiser les

ressources naturelles et jusqu'à 95 % de l'énergie nécessaire à la production d'aluminium brut. Comme le verre, ce matériau conserve sa valeur après usage. Il peut être recyclé à l'infini. Ainsi, en plus de réduire la production de déchets, l'utilisation de matières premières résiduelles comme intrants dans les procédés industriels constitue une source significative d'avantages comparatifs pour les entreprises.

La réflexion sur le développement et la diffusion des technologies de tri

automatique des déchets est bien sûr à mener dans une logique de filière (collecte, tri, traitement...). Développer les technologies de tri plus performantes n'a de sens que si l'ensemble de la chaîne est optimisé. Il convient de souligner que le tri à la source des déchets, par les usagers eux-mêmes reste plus efficace, du moins si les pratiques évoluent en ce sens. Développer les actions d'information et d'éducation des usagers et des industriels sur le tri en amont des déchets est donc probablement un levier intéressant. Dès lors, on peut imaginer que le tri aval soit à terme dédié au traitement de flux résiduels de déchets.

Cette logique industrielle s'appuie cependant sur un double processus : une technologie et une innovation organisationnelle (on entend par là, la mobilisation d'un certain savoir, de compétences ; la mise en place d'une démarche collective visant à maximiser l'usage des matières résiduelles ; la création d'une dynamique institutionnelle apte à créer le changement...).

Dans ce sens, l'innovation ne se limite pas à un simple défi technologique, elle doit être replacée dans des conditions concrètes d'application (production, consommation) et d'organisation.

Selon Ranke, (2011), Boiral et Kabongo, (2004), le défi organisationnel soulève quant à lui, la question de la mise en œuvre des innovations (qu'elles soient majeures ou incrémentales). Les connaissances et les changements qui ont permis à l'entreprise de diminuer les pertes et le gaspillage associés aux déchets ne sauraient se réduire à des mesures d'ingénierie environnementale placées sous la seule responsabilité de services techniques. L'ampleur des changements réalisés montre, au contraire, le développement d'une véritable logique d'apprentissage

s'articulant autour d'une redéfinition des compétences-clés de l'entreprise et reposant sur une large participation des employés

Dans le domaine du management, l'écologie industrielle entraîne des conséquences majeures. D'une part, elle remet en cause la focalisation de l'entreprise sur le produit. Il s'agit de donner autant d'importance à la valorisation des déchets. D'autre part, les entreprises doivent établir une sorte de « management over the fence », c'est-à-dire une chaîne collaborative pour assurer une gestion optimale des ressources. Le fait d'optimiser tous les flux de matière et d'énergie mobilisés par les entreprises (de la matière première jusqu'au produit fini) se traduit par une performance et une compétitivité accrue. Pour améliorer l'efficacité d'un tel système, il sera cependant nécessaire de favoriser certaines fusions industrielles favorables aux échanges de déchets et de ressources et de mobiliser des savoirs (scientifiques, techniques, juridiques, commerciaux) destinés à repenser l'activité en fonction des possibilités de valorisation interne ou externe des résidus. Cet apprentissage organisationnel doit être compris en tant que processus d'acquisition, de production et de diffusion des connaissances (d'où l'importance des apports transversaux et interdisciplinaires) permettant aux entreprises de s'adapter collectivement aux changements de leur environnement et de mettre en place de nouvelles pratiques.

Conclusion :

La politique technologique et la politique environnementale jouent un rôle dans la promotion des technologies propres et de la croissance verte. La politique environnementale crée la demande pour les technologies vertes. Cependant, sans la mise en place de la politique technologique,

les incitations sont insuffisantes pour la création et la diffusion des technologies nouvelles.

Dans ce sens, les pays qui utilisent de plus en plus des taxes liées à l'environnement trouvent qu'elles constituent l'un des instruments d'action les plus efficaces.

La clef d'un développement durable réside dans la combinaison de technologies, d'innovations organisationnelles et de changements dans les modes de vie. D'une part, l'innovation concerne les processus productifs, l'organisation de l'activité économique et les formes institutionnelles. D'autre part, les industriels et les consommateurs devront changer leurs habitudes s'ils veulent améliorer leur bien-être, sans souffrir de la dégradation de l'environnement. Une autre manière de dire que l'écologie industrielle doit fusionner avec l'écologie politique afin de proposer un modèle de sortie de crise.

Enfin, de quelques initiatives environnementales aux domaines de l'écologie industrielle, c'est une nouvelle vision qui s'impose pour les industriels algériens. En effet, la réalité environnementale inquiétante de nos entreprises industrielles nous mène à penser à un modèle écologique approprié.

Références bibliographiques :

Ouvrages :

Brabec M, 2004, « Business model vert », édition Dunod, Paris.

Corbel P, 2009, « Technologie, innovation, stratégie », Lextenso éditions, Paris, pp17-36.

De Backer, 2005, « Les indicateurs financiers du développement durable », éditions d'Organisation, Paris.

Articles de revues :

Alonso-Ugaglia A, Ferru M et Guimond B, 2012, « Moteurs et dynamiques des innovations environnementales des firmes. Le cas du Poitou-Charentes », Document de travail, Archive hal 00758925, version1, France, pp1-21.

Barton, J.H., 2007, « Intellectual Property and Access to Clean Energy Technologies in Developing Countries », ICTSD Issue Paper n°2.

Boiral O, Kabongo J, 2004, « Le management des savoirs au service de l'écologie industrielle », Revue française de gestion, 149, p 176.

Copenhagen Economics, 2009, « Are IPR a Barrier to the Transfer of Climate Change », Technology report prepared by Copenhagen Economics and the IPR Company.

Dasgupta, Susmita, Hamilton K, Pagiola S, and David W, 2008, « Environmental Economics at the World Bank », Review of Environmental Economics and Policy, 2(1), pp 4-25.

Dechezleprêtre, Antoine, Glachant M, Hascic I, Johnstone N, and Ménière Y, 2011, « Invention and transfer of climate change mitigation technologies on a global scale: A study drawing on patent data », Review of Environmental Economics and Policy, 5(1), pp 109-130.

Diemer A, 2012, « La technologie au cœur du développement durable : Mythe ou réalité ? », Revue Innovations N° 37, DOI: 10.3917/inno.037.007, p77. Disponible à l'adresse : <http://dx.doi.org/10.1787/9789264087651-fr>

Fadaee M et Lambertini L, 2012, « Non-Tradeable Pollution Permits as Green R&D Incentives », The Rimini Centre for Economic Analysis, WP 1243, Italy, p.10.

Gallager, Sims K, Anadon L.D, Kempener R and Wilson C, 2011, « Trends in investments in global energy research, development, and demonstration », Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(3), pp 373-396.

Hall, Bronwyn H and Helmers C, 2010, « The Role of Patent Protection in (Clean/Green) Technology Transfer », NBER Working Paper #16323.

Kabongo J, 2004, « Intégrer économie et écologie : le cas de l'industrie canadienne », Vertigo, la revue en sciences de l'environnement, Vol 5, No 2.

Lanjouw, J.O. and Mody A, 1996, « Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology », Research Policy 25, pp 549-571.

Popp D, 2012, « The role of technological change in green growth », Policy Research Working Paper, WPS6239, Syracuse.

Popp D, 2010, « Exploring the links between innovation and diffusion: Adoption of NOX control

technologies at U.S. coal-fired power plants », *Environmental and Resource Economics*, 45(3), pp 319-352.

Porter M.E et van der Linde C, 1995, « Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship », *The journal of economic perspectives*, Vol 9, n°4.

Ranke D, 2011, « Technologies clés 2015 », Comité stratégique, Ministère de l'industrie, p301.

Schneider M, Holzer A and Hoffmann V, 2008, « Understanding the CDM's contribution to technology transfer », *Energy Policy*, 36, pp 2930-2938.