

Facteur 5

Comment transformer
l'économie en rendant les
ressources 5 fois plus productives

E. von Weizsäcker • K. Hargroves
M.H. Smith • C. Desha • P. Stasinopoulos

Traduit de la 1^{re} édition anglaise par Olivier Descout

Préface de Brice Lalonde



Facteur 5

L'humanité entre dans une nouvelle phase de son évolution, dans laquelle elle est amenée à reconsidérer les aspects économiques, environnementaux et sociaux du développement. Le développement durable doit reposer, à quelque échelon que ce soit (États, entreprises, citoyens, ...), sur des réponses adaptées à tous les défis posés par l'articulation de ces trois dimensions.

*Les titres de la collection **Planète enjeu** viennent alimenter le débat économique, social et politique autour de ces préoccupations liées au développement durable.*

Cette collection a l'ambition de publier des ouvrages de réflexion, apportant un regard novateur. Son champ est largement ouvert à toutes les disciplines des sciences humaines.

Edward B. **Barbier**

Un new deal écologique mondial. Repenser la reprise économique

John **Houghton**

Le réchauffement climatique. Un état des lieux complet

Tim **Jackson**

Prosperité sans croissance. La transition vers une économie durable

David J.C. **MacKay**

L'énergie durable. Pas que du vent !

Peter **Newell** – Matthew **Paterson**

Climat et capitalisme. Réchauffement climatique et transformation de l'économie mondiale

Elinor **Ostrom**

Gouvernance des biens communs. Pour une nouvelle approche des ressources naturelles

Charles S. **Pearson**

Économie et défis du réchauffement climatique

Ernst **von Weizsäcker** – Karlson **Hargroves** – Michael H. **Smith** – Cheryl **Desha** – Peter **Stasinopoulos**

Facteur 5. Comment transformer l'économie en rendant les ressources 5 fois plus productives

Facteur 5

Comment transformer
l'économie en rendant les
ressources 5 fois plus productives

E. von Weizsäcker • K. Hargroves
M.H. Smith • C. Desha • P. Stasinopoulos

Traduit de la 1^{re} édition anglaise par Olivier **Descout**

Préface de Brice **Lalonde**

Ouvrage original :

Factor Five. Transforming the Global Economy through 80% Improvements in Resource Productivity by Ernst von Weizsäcker, Karlson 'Charlie' Hargroves, Michael H. Smith, Cheryl Desha and Peter Stasinopoulos

© Ernst Ulrich von Weizsäcker and Karlson Hargroves, Michael H. Smith, Cheryl Desha and Peter Stasinopoulos of The Natural Edge Project, 2009.
Earthscan, All rights reserved.

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web : www.deboeck.com

Crédits photos :

Vélo : © geronimo - Fotolia.com

Éolienne : © Jean-marc RICHARD - Fotolia.com

Lotissement solaire : © danielschoenen - Fotolia.com

Fromages : © gianna - Fotolia.com

Jardinier : © OSCAR - Fotolia.com

Classe : © auremar - Fotolia.com

Tram : © Raph - Fotolia.com

Agroforesterie : © Christian Dupraz

© De Boeck Supérieur s.a, 2013
Rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles
Pour la traduction en langue française

1^{re} édition

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Imprimé en Belgique

Dépôt légal:

Bibliothèque nationale, Paris: décembre 2013

Bibliothèque royale de Belgique, Bruxelles: 2013/0074/217

ISSN 2032-7048

ISBN 978-2-8041-8152-9

Recommandations

« La préoccupation croissante pour le changement climatique a détourné l'attention du fait que les émissions de CO₂ ne sont qu'une partie du problème existentiel auquel l'humanité est confrontée. Il nous faut de toute urgence réduire notre consommation de TOUTES les ressources, et pas juste des combustibles fossiles. Ce nouveau livre est le meilleur point de départ que j'ai trouvé pour ce faire. La multiplication par cinq de la productivité des ressources qu'il décrit semble impressionnante, mais elle est tout à fait réalisable, et cela donnerait un peu plus de temps au monde pour apprendre comment s'adapter à un effondrement écologique. Ce livre présente en outre deux innovations particulièrement importantes : les auteurs se penchent sérieusement sur l'effet rebond, et ils fondent leurs scénarios sur une trajectoire à long terme de hausse des prix de l'énergie. »

Dennis Meadows, co-auteur des *Limites à la croissance* ; lauréat du Prix du Japon 2009

« Est-il possible d'imaginer un monde dans lequel on se débarrasserait progressivement des combustibles fossiles avant que ce soit le climat qui se débarrasse de nous ? C'est désormais possible, en lisant *Facteur Cinq*. »

Peter Newman, Professeur en voie de développement durable à l'Université Curtin (Australie) ; auteur de *Resilient Cities*

« [Il ne peut y avoir] aucun développement durable possible sans développement durable des entreprises. *Facteur Cinq* fournit des arguments et des exemples convaincants qui montrent qu'un commerce durable est possible et rentable à grande échelle, et que les entreprises jouent un rôle clé pour façonner un développement durable. *Facteur Cinq* confirme le rôle central d'une amélioration de l'efficacité énergétique pour favoriser un développement durable. »

Stefan Schaltegger, Professeur en gestion de la durabilité à l'Université Leuphana de Lunebourg (Allemagne)

« Le monde a besoin d'innovations écologiques radicales pour façonner ce qui permettra de sortir de la crise actuelle. Ce livre fournit

des exemples-clés excellents dans une perspective orientée systèmes. Écrit par des penseurs radicaux qui ont une expérience exceptionnelle sur la manière dont on peut conduire ce changement, ce livre est une lecture incontournable, autant pour les dirigeants que pour les universitaires.

Professeur Dr Raimund Bleischwitz, co-directeur du Groupe de recherche « Flux matériels et gestion des ressources » à l'Institut Wuppertal pour le climat, l'environnement et l'énergie ; Professeur au Collège d'Europe de Bruges (Belgique)

« Certains ont pu ignorer le message de *Facteur Quatre* il y a 15 ans. Nous ne pouvons plus nous le permettre. Il nous faut dès à présent adopter le message que confirme *Facteur Cinq*. »

Professeur Bedrich Moldan, sénateur de République tchèque ; ancien président de l'Agence européenne pour l'environnement ; ancien ministre de l'Environnement tchécoslovaque

« Nous vivons l'ère la plus passionnante de l'histoire des hommes. Nous sommes en train d'élargir notre manière de voir le monde, et de nous concentrer, non plus sur une croissance économique matérialiste et à court terme, mais sur une approche système-complet avec, en son cœur, un véritable bonheur à long terme pour tous. Nous sommes en train d'ajouter le besoin de « quantité suffisante » aux objectifs « d'efficacité » et de « productivité » dans nos débats sur la manière dont on peut réduire l'empreinte de l'homme sur Terre. Il n'y a pas à choisir entre économie et écologie. Nous savons aujourd'hui que l'un et l'autre sont fondamentaux dans tous les aspects de la société. Nous devons faire progresser les connaissances scientifiques et techniques en se fondant à la fois sur des valeurs et sur une vision. On devrait encourager l'effet de « saute-mouton » dans les pays en voie de développement – pas seulement en matière de technologies, mais aussi de mode de vie et de valeurs de société. Notre premier impératif est de trouver comment maximiser le bonheur tout en minimisant l'impact sur l'environnement. *Facteur Cinq* fournit à tous, de l'Occident à l'Extrême-Orient, une boussole pour voir loin et mesurer nos progrès. »

Junko Edahiro, journaliste spécialisé dans les questions d'environnement ; co-directeur exécutif de Japan for Sustainability

« *Facteur Cinq* est le guide objectif le plus clair qui existe à ce jour sur la renaissance écologique. Tous les décideurs politiques et tous les praticiens devraient le lire, quel que soit leur positionnement politique sur le changement climatique. »

Professeur Calestous Juma, Harvard Kennedy School

« Nous savons tous ce qu'il adviendra si nous continuons à produire et à consommer comme au ^{xx}e siècle. Mais nous ne savons pas vraiment comment produire et consommer de manière douce pour la planète. C'est pourquoi nous avons besoin de ce livre de toute urgence. »

Brice Lalonde, ambassadeur français du climat ; ancien ministre de l'Environnement français

« Des signaux économiques forts et des technologies innovantes sont très puissants lorsqu'on les combine, et ils sont le meilleur espoir – en fait, le seul espoir – de réaliser les changements nécessaires pour protéger l'environnement. En s'appuyant sur les bases solides établies par *Facteur Quatre*, Ernst von Weizsäcker et ses collègues ont écrit un manifeste inspiré en faveur d'un changement pour réduire la consommation de ressources tout en minimisant l'impact sur les conditions de vie. Si leur recette pêche parfois par optimisme, il faut y voir une vertu. L'environnement a bien besoin de quelques amis optimistes ces derniers temps. »

Frances Cairncross, Exeter College, Oxford ; auteur de *Costing the Earth*

« Le changement climatique représente le plus grand défi que notre génération ait connu. *Facteur Cinq* nous montre, à travers des cas pratiques de commerce durable, que nous pouvons atteindre des résultats positifs en matière d'environnement et d'économie. Ces deux concepts ne s'excluent pas mutuellement – la durabilité, c'est juste du bon commerce. »

Dan Atkins, directeur général de Shaper Group

« Même si le climat ne changeait pas, une transition des combustibles fossiles vers des sources renouvelables capables de se régénérer serait tout aussi urgente et indispensable. Voici un livre de recettes pour un monde économiquement beaucoup plus rationnel, et aussi plus durable. »

Professeur Janis Birkeland, Université de Technologie du Queensland (QUT, Australie) ; auteur de *Positive Development*

« Chaque avocat, chaque lobbyiste à qui l'on demande de défendre le « business-as-usual » devrait lire *Facteur Cinq*. Ce guide de réingénierie de l'avenir fait tout à la fois durer l'espoir et les profits, à parts égales – à condition que nous puissions obtenir le bon cadre politique et aligner l'intérêt des lobbies avec celui de l'humanité. »

Tom Spencer, ancien membre du Parlement européen ; fondateur et directeur exécutif de l'European Centre for Public Affairs ; vice-président de l'Institute for Environmental Security

« Aujourd'hui, le monde est confronté à de nombreux défis qui, tous, découlent des manières non durables dont nous utilisons nos ressources. Malgré la crise économique mondiale la plus grave que nous ayons connue, les prix des ressources ne sont pas revenus à des niveaux aussi bas que durant les années 1990, ce qui démontre qu'il nous faut réduire « l'obésité de ressources » de notre économie et parvenir à des niveaux durables de consommation des ressources. Améliorer l'efficacité des ressources d'un Facteur Cinq est non seulement nécessaire ; c'est un impératif pour que les économies et les entreprises puissent survivre dans un monde nouveau, contraint par l'atmosphère et les ressources. Non seulement ce livre en montre clairement la réalité, mais il en montre aussi la faisabilité juste avec nos connaissances actuelles. Ce message clé rend la lecture de ce livre essentielle. »

Professeur Ernst Worrell, Université d'Utrecht ; auteur principal pour le 4^e Rapport d'évaluation du 3^e Groupe de travail (AR4 – WG3) du GIEC (2004-2007)

« *Facteur Cinq* décrit comment on peut réaliser les gains de productivité des ressources dont le monde a impérativement besoin pour éviter un futur avec moins de bien-être humain. La direction qu'il propose est claire. Dans le passé, rechercher des gains d'efficacité a parfois conduit à perdre en résilience, et donc à des conséquences inattendues et indésirables (comme la salinisation des systèmes d'irrigation). J'approuve l'initiative de *Facteur Cinq*, et je l'exhorte à embrasser l'objectif tout aussi important de maintenir la résilience face aux chocs planétaires auxquels le monde va instamment être confronté. »

Dr Brian Walker, Research Fellow au CSIRO ; président et directeur du programme Resilience Alliance

« Sans doute, l'ingéniosité et la créativité de la civilisation humaine va-t-elle pouvoir s'élever au-dessus d'une activité économique prisonnière de ses dommages collatéraux ? Nous avons la chance de pouvoir créer de nouveaux marchés, de nouvelles industries et de nouveaux emplois tout en rebâtissant la résilience des écosystèmes, et ce défi est passionnant. Sommes-nous à la hauteur de l'épreuve de notre avenir ? Eh bien, seulement si nous agissons rapidement. Lisez *Facteur Cinq* et réjouissez-vous qu'il y ait encore des choix possibles. Puis demandez-vous quel rôle vous pouvez jouer pour vous assurer que l'effort mondial se conclue à temps et à une échelle suffisante. »

Fiona Wain, présidente directrice générale d'Environment Business Australia

« *Facteur Cinq* fait le lien entre les deux piliers de la durabilité future de la planète : (1) la mise en œuvre du « fois cinq » sous la forme de technologies et de systèmes de production dans toutes les industries fortement consommatrices de ressources ; et (2) l'adoption de nouveaux cadres et accords politiques pour favoriser une transition rapide, éthique et juste, et pour s'éloigner d'une prospérité qui engendre des dommages environnementaux inacceptables. Nous en avons maintenant les outils ! En avons-nous le courage ? »

Professeur Mary E. Clark, auteur de *Contemporary Biology*, *Ariadne's Thread* et *In Search of Human Nature*

« *Facteur Cinq* est une référence essentielle qui montre aux entreprises que le documentaire *Une vérité qui dérange* avait poussées à agir comment à la fois réduire de manière radicale leurs émissions de CO₂ ET réduire leurs coûts. C'est un des premiers livres à mettre en avant, au travers d'études de cas sectorielles, les meilleures pratiques du monde entier, puis à expliquer comment des réductions des émissions de CO₂ d'une telle importance ont pu effectivement être obtenues de manière rentable. Il aidera tous les chefs d'entreprise à identifier les pistes et les stratégies de forte réduction de leurs coûts pour réduire les risques dans un avenir sous contrainte carbone. Nous devons tous nous engager à réaliser d'importantes réductions de gaz à effet de serre – et *Facteur Cinq* nous montre comment ! »

Molly Harriss Olson, fondatrice du National Business Leaders' Forum on Sustainable Development et Phillip Toyne, directeur d'EcoFutures

« Il y a trop peu de publications qui répondent d'une manière globale et réaliste aux besoins que l'on constate lorsque l'on poursuit l'objectif d'un développement durable. *Facteur Cinq* est donc une addition bienvenue au corpus de connaissances et à la littérature disponible aujourd'hui, car il montre à la fois aux décideurs politiques et à la société toute entière les différentes solutions et possibilités qui leur sont offertes. Tout ce qu'il nous reste à faire maintenant, c'est de les mettre en œuvre. »

Professeur Walter Leal Filho, Université des Sciences Appliquées de Hambourg (HAW Hamburg)

« *Facteur Cinq* est une contribution importante qui s'ajoute à un corpus croissant de travaux traitant de l'efficacité énergétique et des ressources – un travail essentiel si l'on veut que le monde relève les défis qui se profilent au sujet des émissions de gaz à effet de serre, de l'utilisation des ressources critiques, du succès du marché et de l'équité mondiale. *Facteur Cinq* est particulièrement intéressant parce qu'il pose les bonnes questions sur ce que nous faisons, pourquoi nous le faisons et, plus important encore, comment nous le faisons. Les auteurs n'ont pas seulement puisé dans les grands systèmes consommateurs de ressources que nous, les humains, avons créés, mais il explore aussi de manière rigoureuse la façon dont ces systèmes peuvent être améliorés – d'au moins un Facteur Cinq, sinon plus. »

Cameron M. Burns, rédacteur en chef et journaliste au Rocky Mountain Institute

« Chaque jour, tout autour de nous, vous pouvez voir les ressources de la Terre être gaspillées par chacun de nous et par notre mode de consommation, comme s'il n'y avait pas de lendemain. Faire plus avec moins a été une constante dans de nombreuses cultures durant des milliers d'années, mais pas dans la nôtre, puisque, la plupart du temps, ni vous, ni moi ne le faisons. Dans nos choix au quotidien au travail, au moment d'acheter ou de vendre, à la maison, nous avons tous besoin de nous habituer à prendre en compte et à changer notre comportement immédiatement pour utiliser moins, d'une manière qui, à la fois, permette plus et maintienne notre qualité de vie. Si ce nouveau livre, *Facteur Cinq*, et ses exemples concrets et pertinents, peuvent être source d'inspiration, alors nous ferions mieux de lui emboîter le pas dès maintenant et de commencer à agir en suivant ses conseils. Mettez *Facteur Cinq* au cœur de vos choix de consommation à la maison et au travail, apportez-le à vos collègues et vos amis, et cessez de gaspiller notre planète à hauteur de 80 pour cent, comme si la vie sur Terre ne comptait pas. Faites de *Facteur Cinq* votre premier choix, et pas votre dernier. »

Greg Bruce, directeur exécutif d'Integrated Sustainability, Townsville

« Le concept de Climate Exchange a prouvé qu'une fois que des programmes de réduction des gaz à effet de serre étaient lancés, il n'existait plus aucune limite à l'innovation et à la créativité que les entreprises étaient capables d'exploiter. Et bien sûr, l'innovation sera un élément fondamental de la solution au problème. *Facteur Cinq* montre le potentiel de réduction significative des

émissions de gaz à effet de serre pour les grands secteurs fortement consommateurs de ressources, et il montre que cela être fait de manière rentable. Que ce soit par le biais d'échanges de quotas d'émissions ou d'autres mécanismes fondés sur le marché, notre expérience au Chicago Climate Exchange et à l'European Climate Exchange a clairement montré que les entreprises à l'avant-garde pour relever ce défi deviendront les leaders de leurs secteurs respectifs. »

Richard L. Sandor, président exécutif du Climate Exchange plc. (CLE.L), une société cotée à l'Alternative Investment Market qui possède le Chicago Climate Exchange, le Chicago Climate Futures Exchange et l'European Climate Exchange

« Dans un monde de plus en plus peuplé et axé sur la production, la nécessité de réduire notre empreinte écologique globale, et donc de fournir « de l'espace » aux services des écosystèmes pour soutenir une biosphère saine, est de la plus haute importance. *Facteur Cinq*, en explorant les rôles combinés de la technologie, des outils et cadres réglementaires, économiques et sociopolitiques dans l'optique d'une plus grande efficacité de l'utilisation des ressources, fournit les fondations pour réaliser la transition vers un avenir avec une empreinte plus faible. Ce livre est important, surtout parce qu'il fournit des directives claires pour assurer un avenir planétaire plus sûr et plus durable. »

Dr Ronnie Smith, Institut des études environnementales de l'Université de Nouvelle-Galles du Sud, Australie

« Les auteurs combinent les solutions techniques et les outils législatifs indispensables pour lancer une amélioration massive de l'efficacité des ressources et réaligner les modes de consommation avec des rythmes de renouvellement naturel, en adoptant une approche système-complet. Il est évident que nos défis ont autant, sinon plus, à voir avec le leadership et la volonté politique qu'avec les difficultés techniques. *Facteur Cinq* propose des études de cas qui remettent en question le statu quo et poussera tous les ingénieurs, tous les architectes et tous les techniciens à se battre pour améliorer l'efficacité des ressources et s'atteler rapidement aux contraintes globales qui gagnent du terrain. Il fournit à la fois une vision, un calendrier pour l'adoption de solutions législatives et une plate-forme pour les décideurs publics les plus déterminés – exactement ce qu'il nous faut aujourd'hui pour résoudre les problèmes les plus pressants auxquels la civilisation humaine doit faire face. À lire absolument ! »

Archie Kasnet, associé, Groupe AEDI

« Tout au long de mon expérience passée dans plusieurs pays en tant que jeune scientifique, j'ai appris que travailler uniquement dans l'écologie ne suffisait pas à résoudre le problème du changement climatique. Intégrer politique, science et économie mondiale est indispensable pour apporter des solutions. *Facteur Cinq* donne forme à ces constats et fournit une direction claire pour réussir à mettre en œuvre les solutions les plus accessibles en matière d'efficacité des ressources. »

Mary Louise Gifford, Energy and Resources Group, Université de Berkeley en Californie, États-Unis

« Alors que les ressources naturelles se raréfient, et que nous commençons à donner un prix à l'eau et au carbone, la productivité des ressources devient un moteur essentiel de la croissance future. Ce livre sera un outil essentiel pour tous ceux qui souhaitent comprendre et saisir les opportunités de ce monde futur. »

James Bradfield Moody, directeur général du développement au CSIRO ; ancien membre et co-fondateur de The Natural Edge Project

« Un rapport très documenté sur les potentiels croissants, à travers le monde, de productivité de l'énergie et de l'eau. Les auteurs sont des experts reconnus de ce domaine vital, et par ce livre, ils montrent où l'on peut trouver les améliorations les plus importantes. Une lecture indispensable ! »

Hazel Henderson, auteur de *Ethical Markets : Growing the Green Economy*, et président de Ethical Markets Media (États-Unis et Brésil)

« Nous avons vu se produire quelques changements depuis que *Facteur Quatre* a été publié il y a 12 ans, mais il est possible d'en faire plus, et c'est beaucoup plus qu'il faut faire. Il y a encore tous ceux qui, dans le secteur du bâtiment, de la construction, de la production d'acier et de ciment, affirment que des gains d'efficacité d'un Facteur Quatre ou Cinq sont impossibles ; il y a toujours tous ces décideurs publics qui ne comprennent pas ce qui est indispensable pour conduire ce changement. *Facteur Cinq* est un rappel opportun de tout ce qu'il est possible de faire, et un vibrant appel aux décideurs sur le fait que nous avons besoin d'une nouvelle direction et de décisions politiques définissant un cadre pour ce changement. »

Maria Atkinson, directrice du développement durable pour le monde au sein de Lend Lease Corporation

« Dans le sillage de la crise financière mondiale, du changement climatique, de la pénurie d'eau potable et de la sécurité énergétique, la question qui se pose pour de nombreux ingénieurs professionnels et leurs clients au sujet de « l'efficacité des ressources », ce n'est plus « pourquoi ? », mais plutôt « comment ? » *Facteur Cinq* est l'outil idéal pour les décideurs, conseillers et consultants qui cherchent des réponses à cette importante question. »

Darren Bilsborough, directrice du développement durable pour Parsons Brinckerhoff ; Professeur adjoint ès durabilité à l'Université Curtin

« Pendant trop longtemps, les dirigeants politiques, industriels et autres ont favorisé la croissance économique et l'ont considéré comme le principal outil de mesure de la réussite. Même après avoir pris conscience des impacts écologiques de cette croissance, personne n'a eu envie de revoir sa manière de penser, à cause du coût perçu. Le changement climatique nous laisse maintenant peu de choix. Tous les secteurs doivent accepter le constat que notre avenir est bien sombre si nous ne limitons pas nos émissions de gaz à effet de serre de façon rapide et spectaculaire. Nous devons faire adopter une « approche système-complet » à la production, à la réglementation et à la consommation. *Facteur*

Cinq définit un programme pour y parvenir et nous donne l'espoir qu'il peut être réalisable. »

Professeur Juliet Roper, vice-doyenne ès durabilité à l'école de management de l'Université de Waikato ; présidente de l'Asia Pacific Academy of Business in Society (APABIS)

« Le Prix Nobel Albert Szent-Györgyi (1893-1986) a dit un jour que « découvrir consiste à voir ce que tout le monde a vu et à penser ce à quoi personne n'a pensé. » – et c'était le cas avec *Facteur Quatre*. De véritables bonnes idées qui sont devant nous comme le nez au milieu de la figure, et que des gens mettent en lumière en les regardant juste un peu différemment. Appliquer les idées de *Facteur Cinq* permettra à chacun d'améliorer son travail de conception, mais le véritable résultat du processus et de l'approche que vous apprendrez en le lisant, sera d'enrichir votre travail et de transformer notre société. »

Philip Bangerter, directeur du développement durable pour le monde de Hatch Engineering

« Un consensus émerge selon lequel il est temps de cesser les débats sans fin sur le changement climatique et de se mettre à agir. Les auteurs de *Facteur Cinq* ont parcouru le monde pour trouver les efforts des pionniers et, au travers d'études de cas rédigées de manière claire, ce livre explore chacun des secteurs économiques à forte intensité de ressources dans l'optique d'augmenter la productivité d'un Facteur Cinq. Ce livre ambitieux et pourtant concret est une contribution importante à l'ingénierie, au design et l'élaboration de politiques pour le nouveau millénaire. »

Dr Stephen Horton – Programme de recherche urbaine, Université Griffith

« Une multiplication par Cinq de la productivité énergétique et des ressources ouvre des possibilités fascinantes pour l'industrie tout en permettant d'atténuer le réchauffement climatique et les autres menaces environnementales. L'éco-efficacité est un élément-clé d'une stratégie industrielle au sein d'un développement durable. »

Dr Stephan Schmidheiny, président d'Anova ; président fondateur du Conseil mondial des entreprises pour le développement durable (WBCSD)

Citations des mécènes

« Le monde fait face à de nombreux défis politiques « diaboliques » et de nombreux défis techniques complexes, qui sont sans précédent dans l'histoire humaine. Comment peut-on maintenir la prospérité, la puissance, continuer à alimenter une population croissante, et conserver des écosystèmes naturels en bonne santé dans un futur sous contrainte carbone qui fait face au défi du climat ? Une telle gageure ne peut être résolue que par une approche globale et intégrée, que ce soit à l'échelle mondiale, nationale ou locale. Ce livre apporte une contribution significative pour répondre à

l'impératif de changement mondial, et sa lecture devrait être obligatoire, tant pour les hommes politiques et les dirigeants d'entreprise que pour les citoyens ordinaires. »

Dr Andrew Johnson, Directeur du Groupe Environnement, CSIRO

« Il y a que longtemps que l'Université Griffith met l'accent sur l'environnement et le développement durable, et ce travail, réalisé par certains de nos professeurs en début de carrière, est une nouvelle contribution bienvenue dans ce domaine. Aider les gens à mener une vie productive et épanouissante est un rôle de premier plan du secteur de l'enseignement supérieur. Dans les années à venir, nous allons voir l'accent être davantage mis sur l'importance de la durabilité de cette équation. Les innovations dans la consommation d'énergie, d'eau et de matériaux devront être accélérés et progressivement intégrés dans l'enseignement universitaire. L'Université Griffith co-organise The Natural Edge Project, et est fière de faire partie des mécènes de cette étude qui, pour l'Université, apportera une contribution significative à la réponse à ces besoins. »

Professeur Ned Pankhurst, Vice-chancelier adjoint chargé de la recherche à l'Université Griffith

« La Fondation Kathy Beys d'Aix-la-Chapelle est fière d'avoir contribué à l'élaboration de ce livre, qui attire l'attention du monde sur les nombreuses opportunités relatives à la productivité des ressources, et qui repose sur de nombreuses années de mise en œuvre politique et de compréhension opérationnelle. Pendant plus de 10 ans, la Fondation a concentré son travail sur le fait de faire avancer la question du « Facteur X » de la productivité des ressources, et nous avons hâte de voir le travail de *Facteur Cinq* devenir une réalité au cours des décennies à venir. »

B. Stephan Baldin, Fondation Kathy Beys d'Aix-la-Chapelle

« Les deux grands défis de notre génération sont l'explosion démographique (croissance physique) et le changement climatique (gestion de nos ressources naturelles). Leadership, vision et partenariat sont des ingrédients essentiels pour relever ces défis, et de nombreux gouvernements à travers le monde font maintenant preuve d'un tel leadership, en particulier les gouvernements américains et britanniques, ainsi que le premier ministre du Queensland, qui a appelé à un Conseil du changement climatique dont j'ai l'honneur de faire partie. Mais les pouvoirs publics ne peuvent pas relever ces défis sans des partenariats d'innovation avec l'industrie et la population. Lire *Facteur Cinq* est un impératif fondamental, et c'est la raison pour laquelle Conics Ltd a accepté d'être un mécène majeur de son développement. Les pouvoirs publics et les industries à travers le monde trouveront dans les pages qui suivent de nombreuses manières, non seulement d'augmenter significativement la productivité des ressources, mais aussi de réduire les pressions sur l'environnement. Je tiens à féliciter l'équipe qui se trouve derrière ce livre et j'ai hâte d'en voir ses leçons élargies et mises en œuvre à travers le monde. »

Jim McKnoulty, président de Conics Ltd

« Pendant trop longtemps, les questions fondamentales de l'efficacité de consommation des ressources et du découplage entre production et flux matériels et énergétiques ont manqué d'un cadre cohérent et d'une synthèse. C'est ce qu'offre *Facteur Cinq* d'une manière incroyablement opportune, en présentant des voies positives à la fois pour définir des politiques et les mettre en pratique – ce livre est source à la fois d'optimisme et d'action ».

Professeur Stephen Dovers, Fenner School of Environment and Society,
Université nationale australienne

Préface

Par Brice Lalonde

La prise de conscience écologiste est née avec l'exploration spatiale. Pour la première fois on a pu voir la planète Terre de l'extérieur et apprécier sa solitude dans l'espace. Les satellites en font le tour en moins de deux heures. L'atmosphère luit à sa surface comme une peau fragile. Tout compte fait, la Terre n'est pas aussi grande qu'on pouvait en avoir l'impression jadis, quand l'Amérique fut découverte. A l'époque la population mondiale avoisinait le demi-milliard. Lors de l'expédition vers la lune, elle avait franchi les 3 milliards et déjà des voix s'élevaient pour mettre en garde contre la surpopulation. En 1972 le Club de Rome suggérait qu'il pouvait y avoir des limites à la croissance. Depuis le débat n'a pas cessé. En 2012 la population a dépassé les 7 milliards, dont une partie croissante rejoint le niveau de vie des pays développés tandis que l'autre lutte encore pour sa survie.

De conférence en conférence, de rapport en rapport, les scientifiques avertissent que les dégâts infligés à la nature sont de plus en plus graves. Ce ne sont plus seulement des pollutions ou des destructions localisées, ce sont les fondations mêmes qui sont menacées : les grands cycles naturels sont perturbés, le climat est altéré, les espèces disparaissent. .. D'un côté le prélèvement des ressources atteint un niveau insoutenable, de l'autre les déchets s'accumulent. Combien de temps le pillage pourra-t-il durer ? Ne pourrait-on au moins éviter le gaspillage ? La communauté internationale, tout en cherchant à faire disparaître les dernières poches de misère, sait désormais qu'elle doit s'unir pour trouver une nouvelle manière d'habiter la Terre.

Nous aider à faire mieux avec moins, c'est l'objectif de ce livre. Son auteur, Ernst von Weizsäcker, éminent universitaire, ancien parlementaire, lui-même membre du Club de Rome, a une longue expérience de la défense de l'environnement. J'ai eu le privilège de travailler avec lui naguère. Nous cherchions à diffuser dans tous les pays européens les meilleures politiques de l'environnement de l'un d'entre eux. Dans la dernière décennie du siècle, il préside l'institut Wuppertal pour le climat, l'énergie et l'environnement où il réfléchit précisément à la « dématérialisation » de l'économie, c'est-à-dire les façons de réduire

sa voracité en tonnes de pierres, ciment, métaux, bois, charbon, pétrole, eau, etc. En 1995, il rédige avec Amory et Hunter Lovins, grands spécialistes américains de l'énergie, un premier livre dans lequel il décrit 50 exemples d'économie de matières premières, d'eau et d'énergie permettant de doubler la qualité de vie tout en divisant par deux la consommation de ressources. C'est *le Facteur 4*, un livre qui, avec *l'Ecologie de marché* de Paul Hawken, *le Capitalisme naturel* de Hawken et Lovins, *le Biomimétisme* de Janine Benyus, *Du berceau au berceau* de McDonough, et quelques autres, passionnera une génération nouvelle d'ingénieurs. Et c'est précisément d'une rencontre avec Weizsäcker d'un groupe de jeunes ingénieurs australiens que naît l'idée du *Facteur 5*. Oui, on peut faire encore mieux : réduire de 80% la consommation de ressources naturelles sans pour autant diminuer la qualité de vie.

Le livre est divisé en deux parties. La première, rédigée par les ingénieurs australiens, décrit les techniques économes de ressources dans 4 domaines : le bâtiment, l'industrie lourde, l'agriculture, les transports. La seconde passe en revue les moyens que les pouvoirs publics peuvent se donner pour hâter l'avènement de ces techniques et éviter qu'elles ne conduisent, par effet pervers, à une consommation accrue. Dans les secteurs passés en revue, les lecteurs seront intéressés de comprendre que seule l'approche globale d'un système technique permet d'atteindre le facteur 5 dans l'économie de ressources. Un regard trop partiel n'offre que des perfectionnements de détail. Les auteurs utilisent une grille issue des travaux du groupe intergouvernemental d'étude du climat (le fameux GIEC) afin d'évaluer tour à tour pour chaque système examiné les possibilités offertes par l'efficacité énergétique, la substitution de combustible, la récupération de chaleur et d'électricité, les sources d'énergie renouvelable, le recours à une autre matière première, la création d'un nouveau produit, les économies de matière et d'eau, la réduction des gaz à effet de serre autres que le gaz carbonique. Les chapitres techniques, emplis de chiffres et de notes, donnent de nombreux exemples de réussites ou de pistes prometteuses. J'ai retenu par exemple que les géopolymères pouvaient devenir une alternative intéressante aux bétons. Cette partie technique documentée et relativement austère rappelle les catalogues des années soixante-dix quand le mouvement écologiste naissant diffusait les recettes du mieux-vivre : les expériences des Nouveaux Alchimistes de John Todd, le *Whole Earth Catalog* de Stewart Brand... au fond c'est une tradition ancienne dont l'*Encyclopédie* de Diderot est un exemple.

Dans son introduction, Weizsäcker espère que l'économie verte, c'est-à-dire la symbiose de l'économie et de l'écologie servie par une floraison de techniques propres, créera un nouveau cycle de croissance où la productivité des ressources naturelles comptera plus que celle du travail. Encore faut-il bâtir la réglementation, le cadre fiscal et l'environnement macroéconomique dans lequel les entreprises et les consommateurs feront prospérer l'économie verte. Car une question reste ouverte : pourquoi ces techniques si économes n'ont-elles pas encore détrôné leurs concurrentes moins efficaces et moins propres ? C'est que le service ou le produit offert par ces nouveaux procédés est déjà fourni par les

techniques existantes, certes moins performantes. Et il faudrait investir, changer les habitudes, penser au long terme, alors que les calculs économiques, dans leur forme actuelle, ne tiennent pas compte des dommages écologiques. Le coût de l'énergie et des matières premières n'intègre pas le coût des réparations dues à l'environnement. C'est toute la question, par exemple, du coût du carbone émis sans pénalité dans l'atmosphère alors qu'il modifie le climat. Aujourd'hui, dans la plupart des pays, les acteurs économiques ne sont pas incités à utiliser ces nouvelles techniques, en dépit de leur intérêt. Il faut donc adopter des politiques pour créer ces incitations.

L'histoire des politiques de l'environnement montre que la réglementation fut la première réponse aux problèmes de l'environnement. Elle a connu des succès notables. Elle permet de juguler la pollution locale, mais elle n'est guère efficace contre l'altération des biens communs de la planète ou la surconsommation des ressources naturelles. C'est pourquoi d'autres instruments empruntés au monde économique ont été progressivement introduits dans l'arsenal des mesures écologiques : labels, certifications, analyses de cycle de vie des produits, consignes et recyclage, nouvelles méthodes de gestion et de communication des entreprises, codes des marchés publics, accords volontaires entre l'Etat et les organisations professionnelles, alignement sur les meilleures pratiques d'un secteur, etc. Des incitations ou des dissuasions ont encouragé ou découragé des pratiques favorables ou nuisibles à l'environnement. On a cherché par exemple à élever le coût des pollutions ou de la consommation de ressources en créant des taxes, en imposant des plafonds de consommation ou des plafonds d'émission de polluants accompagnés de marchés de permis, parfois en combinant les deux.

Les vingt dernières années ont vu fleurir toutes sortes d'initiatives de ce genre, y compris des marchés de droits à la construction ou d'obligations de protection de la nature. Il faudra en tirer le bilan. La taxe est-elle meilleure que le marché de quotas ? L'une fixe un prix sans connaître son effet sur l'environnement, l'autre détermine le niveau de pollution acceptable et c'est le marché qui fait fluctuer le prix. Curieusement ce sont les Etats-Unis qui, à Kyoto, vantèrent l'échange de quotas pour finalement s'extraire du protocole, et c'est l'Europe, au départ réticente, qui l'adopta. On pourrait imaginer un compromis sous la forme d'un marché encadré par un prix plancher et un prix plafond. Autre exemple : nombre de pays ont obligé les entreprises distributrices d'électricité à offrir des pourcentages d'origine renouvelable ou à garantir un prix de rachat de l'électricité produite par des sources renouvelables. Malheureusement beaucoup sont revenus sur leur décision pendant la récente crise économique, ruinant ainsi les entrepreneurs qui s'étaient lancés. Weizsäcker insiste à juste titre sur la nécessité d'engagements tenus sur la durée et sur l'indispensable prévisibilité des politiques publiques.

Dans le cadre du verdissement des systèmes fiscaux dont on voit les prémises un peu partout, il suggère une fiscalité progressive sur la consommation de ressources naturelles, annoncée longtemps à l'avance, qui serait renforcée au rythme des progrès de la productivité des ressources. Pendant le demi-siècle à

venir, plus le prélèvement des ressources s'allègera, plus la taxe sur le prélèvement s'alourdira. Il compare le processus à la montée des salaires qui accompagne celle de la productivité du travail. Ce serait un moyen, pense-t-il, de circonvenir l'effet rebond, ce mécanisme par laquelle tout progrès dans l'efficacité se trouve compensé, voire détruit, par l'usage accru que cette efficacité autorise. Des voitures plus économes en carburant permettent de rouler davantage. Dans l'histoire humaine, selon le point de vue que l'on envisage, l'effet rebond est aussi une dynamique de progrès, puisque l'amélioration des techniques permet leur diffusion et ouvre l'accès à leurs services au plus grand nombre. Peut-être faut-il envisager d'affecter la recette des taxes écologiques à un fonds pour l'avenir, de la même façon que les Norvégiens mettent de côté une partie des recettes de leur pétrole.

Facteur 5 a été rédigé juste avant la conférence sur le climat de Copenhague, fin 2009. Depuis, la crise économique n'a guère permis d'avancer et l'ouvrage conserve toute son actualité. Ainsi l'exploitation des hydrocarbures de roche aux Etats-Unis a déversé en Europe d'importantes quantités de charbon américain dont le bas coût a incité les producteurs d'électricité du Vieux-Continent à le brûler à la place du gaz naturel, augmentant ainsi la pollution. Cette aberration n'a été possible qu'en l'absence d'un coût suffisant donné au carbone lâché dans l'atmosphère. Dans ce paysage mitigé, des progrès un peu épars sont néanmoins notables dans bien des pays et la science économique confirme de plus en plus le rapprochement de l'économie et de l'écologie. C'est l'un des enseignements qui croît le plus vite dans les facultés d'économie. Désormais prendre en compte l'écologie n'est pas seulement inclure dans l'analyse quelques externalités au système économique, mais bien fusionner les deux disciplines, la production des écosystèmes naturels s'ajoutant aux productions économiques.

Pour beaucoup d'économistes, le capital naturel est maintenant considéré comme un élément indispensable du capital d'une société, au même titre que le capital humain (la santé et l'éducation), le capital social (le vivre ensemble : tranquillité publique, institutions, organisation, confiance), le capital construit (infrastructures, bâtiments, machines) et le capital financier. Il s'agit donc d'entretenir, de rémunérer, de reproduire ou de réparer ce capital naturel. L'agriculture reconnaît le service rendu par les abeilles qui pollinisent les arbres fruitiers ou par les chauves-souris qui se nourrissent des insectes. Elle s'efforce d'installer des ruches pour les unes et de protéger les abris des autres. Le buveur d'eau reconnaît le service rendu par le massif forestier château d'eau et intègre la rémunération du forestier dans le prix de l'eau. Ces services ont longtemps été considérés comme des dons de la nature. En réalité les écosystèmes ne rendent service qu'à la condition d'être en bonne santé.

Weizsäcker est donc l'un de ces pionniers qui s'efforcent de réinventer l'économie pour assurer à l'humanité un développement futur harmonieux. La productivité des ressources est sa cause. Certains de ses collègues ajoutent que le produit n'est qu'un outil au service d'une fonction et que c'est celle-là qu'il

faut privilégier. Ce qui compte n'est pas l'automobile, c'est la mobilité que l'on peut l'assurer par d'autres moyens. Cette idée a fait naître des entreprises fondées sur la location, plutôt que la vente, de produits. Elle favorise le retour à l'entreprise du matériel loué et ouvre la porte à l'économie circulaire, un autre concept de l'économie écologique. Dans la nature il n'y a pas de déchet, tout est réutilisé, transformé, recyclé. Il arrivera un temps où l'on ne pourra pas continuer à extraire sans limites des matériaux vierges. Il faudra recycler l'essentiel des matières premières, ce qui signifie que la conception des produits devra dès l'origine favoriser leur recyclage. Bien entendu l'économie des ressources n'est qu'un pan de l'écologie. Nos économies doivent aussi permettre à la biodiversité de s'épanouir. Et l'écologie elle-même ne couvre qu'un aspect des politiques publiques qui doivent veiller à la satisfaction générale, ce que la communauté internationale nomme le développement durable.

En 2012 à Rio de Janeiro eut lieu la troisième conférence vicennale des Nations unies sur le développement durable. Parmi les trop rares décisions prises par les diplomates figure le mandat donné au service statistique de l'ONU de travailler à de nouveaux indicateurs économiques qui donneraient une meilleure représentation du développement d'une société que le produit national brut. Voilà qui doit satisfaire Weizsäcker qui critique à juste titre l'insuffisance du PNB, reconnue par tous les experts, méconnue par la plupart des responsables politiques. De nombreux travaux ont précédé cette conférence dont l'un des thèmes était précisément l'économie verte dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. La Banque mondiale, l'OCDE, les agences des Nations unies, des enceintes comme le Forum de Davos, des fondations, des associations et la plupart des gouvernements ont produit à cette occasion des travaux utiles qui complètent en quelque sorte *Facteur 5* tout en révélant le chemin qui reste à faire.

Weizsäcker sait que le chemin est long et se heurte parfois à des intérêts contraires. Fidèle à son engagement social-démocrate, il insiste sur la complémentarité de l'Etat et du marché. L'un ne va pas sans l'autre dans la transformation de l'économie. Le monde a besoin de règles. Il s'aventure à la fin de son ouvrage sur les terres inexplorées de la sobriété. Peut-on se mettre d'accord sur ce qui est suffisant et ce qui est superflu ? La recherche du bien-être justifie-t-elle une telle frénésie économique ? Au fond s'il y a dans l'espèce humaine une aspiration à la coopération autant qu'à la compétition, ne peut-on fonder aussi l'économie sur la coopération ? Cette interrogation rejoint de récentes – et surprenantes – innovations dans le monde des entrepreneurs. Une nouvelle catégorie d'entreprises apparaît : celles dont l'objectif premier n'est pas de distribuer un dividende aux actionnaires. Pour l'un de ses inventeurs, le professeur Yunus, l'altruisme est aussi un puissant moteur économique. Peut-être l'histoire de l'économie dira dans quelque temps que l'entreprise altruiste était précisément l'outil qu'il nous fallait pour réaliser le facteur 5 tout en éliminant la misère.

Avec ce livre le lecteur pourra se familiariser avec quelques noms d'auteurs influents comme Herbert Daly, Thomas Friedman, Nick Stern. Il sera peut-être déçu

de trouver peu de références en français dans le livre, alors que la plupart des pays francophones peuvent mettre en avant des performances honorables et quelques initiatives remarquables. C'est le signe que l'usage de notre langue a reculé dans le monde. Il faudrait que les réussites, les actions méritoires, les innovations des peuples francophones soient mieux connues et que les principaux ouvrages en français sur le développement durable et l'écologie soient traduits. Mais je ne puis manquer d'ajouter que c'est dans le petit village provençal de Carnoules qu'en 1994 seize illustres personnalités venues du monde entier, dont Weizsäcker et Lovins, lancèrent le premier appel public à multiplier la productivité des ressources naturelles.

À propos des auteurs

Ernst von Weizsäcker est co-président du Groupe d'experts international sur la gestion durable des ressources, mis en place par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement. De 2006 à 2008, il a été doyen de la Bren School of Environmental Science and Management à l'Université de Santa Barbara en Californie. Il a été membre (SPD) du Parlement allemand (Bundestag) de 1998 à 2005, et président du Comité environnement au Bundestag. Avant d'entrer en politique, il a été président-fondateur de l'Institut Wuppertal pour le climat, l'environnement et de l'énergie de 1991 à 2000, période pendant laquelle il a écrit *Facteur Quatre* avec Amory Lovins et Hunter Lovins. De 1984 à 1991, Ernst a été directeur de l'Institut pour une politique environnementale européenne, un groupe de réflexion international disposant de bureaux à Bonn, Londres, Paris et Bruxelles. De 1981 à 1984, il a été Directeur de la Division politique au sein de la Commission de la science et de la technologie au service du développement, créée par les Nations Unies, à New York ; avant cela, il a été président-fondateur de l'Université de Kassel, en Allemagne (1975-1980). De 1972 à 1975, il a été professeur titulaire en biologie à l'Université d'Essen, en Allemagne. Le cursus d'Ernst comprend une maîtrise en physique de l'université de Hambourg et un doctorat en zoologie de l'Université de Fribourg. Il est membre du Club de Rome, membre de l'Académie Européenne des Arts et des Sciences et de l'Académie Mondiale des Arts et des Sciences, Professeur honoraire de l'Université technique de Valparaiso, au Chili. Ses publications incluent *Ecological Tax Reform* (1992, non traduit en français), *Earth Politics* (1994, non traduit en français), *Facteur Quatre* (1997) et *Limits to Privatization* avec Oran Young et Matthias Finger (2005, non traduit en français). Il est titulaire d'un doctorat *honoris causa* de l'Université de Soka, au Japon, et il a reçu plusieurs prix internationaux, dont le Premio de Natura (Italie), le prix Takeda (Japon), la Médaille d'or du WWF et, plus récemment, le prestigieux Prix de l'Environnement allemand.

Karlson « Charlie » Hargroves est co-fondateur et directeur exécutif de The Natural Edge Project (TNEP), un groupe de recherche

collaboratif sur le développement durable basé en Australie. TNEP est une collaboration entre l'Université Griffith et l'Université Nationale Australienne, lancée après incubation au sein de l'Institution of Engineers Australia. La mission de TNEP est de contribuer et de faire connaître les travaux de recherche de pointe, les études de cas, les outils, les politiques et les stratégies qui ont pour but la mise en place d'un développement durable au sein des pouvoirs publics, des entreprises et de la société civile. Acteur de l'équipe TNEP depuis sa fondation en 2002, Charlie a travaillé sur un certain nombre de livres publiés par Earthscan, et il a notamment co-crée et co-édité *The Natural Advantage of Nations* (2005, non traduit en français), et co-écrit *Whole System Design* (2008), *Facteur Cinq* (2012), *Cents and Sustainability* (2010), *Energy Transformed* (2010) and *Engineering Education for Sustainable Development* (2010) (à part *Facteur Cinq*, aucun n'est traduit en français). En 2000, Charlie a obtenu une licence en génie civil et structurel à l'Université d'Adélaïde, et il termine actuellement un doctorat sur « les politiques et les outils pratiques de productivité des ressources » sous la direction du Professeur Peter Newman. En 2004, Charlie a été détaché durant 12 mois pour devenir PDG du jeune cabinet de conseil Natural Capitalism Inc. basé dans le Colorado, sous la supervision de Hunter Lovins ; il représente actuellement le cabinet en tant que membre associé du Club de Rome. Charlie a fait plus de 30 allocutions à l'international et, avec l'équipe TNEP, il a contribué à la mise en place d'un certain nombre d'ateliers, de tables rondes et de sessions de formation. Actuellement, il travaille en tant que chercheur à l'Université de Griffith.

Michael Smith est co-fondateur et directeur de recherche de The Natural Edge Project. Acteur de l'équipe TNEP depuis sa fondation en 2002, Michael a conduit des recherches sur des applications pratiques du développement durable très bien, avec des partenaires aussi bien internationaux (Chicago Climate Exchange ; World Federation of Engineering Organisations) qu'en Australie (Institution of Engineers Australia ; Plastics and Chemicals Industry Association ; Australian Paper, Timber Products and Paper Council), Michael est également co-auteur et co-rédacteur en chef de *Natural Advantage of Nations* (2005), et co-auteur de *Whole System Design* (2008), *Facteur Cinq* (2009), *Cents and Sustainability* (2010) et *Energy Transformed* (2010). Michael a obtenu une licence en sciences avec mention à l'Université de Melbourne, avec une double spécialisation en chimie et en mathématiques, et il a présenté sa thèse de doctorat avec les Professeurs Steve Dovers et Michael Collins à l'Université Nationale Australienne. Au cours de ses études, Michael a reçu le prix de la réussite environnementale de l'ANU en 2001 pour une série d'efforts pour la durabilité, notamment en aidant à catalyser les Australian Campuses Towards Sustainability Network. Actuellement, Michael travaille en tant que chercheur à la Fenner School of Environment and Society.

Cheryl Desha est directrice de la formation au sein de The Natural Edge Project, et elle est chargée de cours à l'Université Griffith. Actrice de l'équipe TNEP depuis 2003, Cheryl a participé à de nombreux stages et formations traitant

des initiatives en faveur du développement durable, y compris l'acquisition de compétences professionnelles et l'évolution du curriculum universitaire. Elle a co-écrit *The Natural Advantage of Nations* (2005), *Whole-System Design* (2008), *Facteur Cinq* (2009), *Energy Transformed* (2010), et elle est l'auteur principal d'*Engineering Education for Sustainable Development* (2010). Cheryl possède une licence avec mention très bien en ingénierie de l'environnement de l'Université Griffith, et a reçu la médaille de l'Université et la Médaille de l'ingénierie de l'environnement. Elle termine actuellement un doctorat en éducation sur le développement durable, sous la direction du Professeur David Thiel à l'Université Griffith. Avant de rejoindre l'équipe TNEP en 2003, Cheryl a travaillé pour une société de conseil technologique internationale pendant quatre ans. En 2005, elle a été récompensée en tant que « jeune ingénieur de l'année » par l'Institution of Engineers Australia, et en 2008, elle a été choisie pour être l'un de 1000 Australiens à assister au Sommet 2020 du Premier ministre australien. Actuellement, Cheryl travaille en tant que maître de conférences à la School of Engineering de l'Université Griffith.

Peter Stasinopoulos est le directeur technique de The Natural Edge Project. Peter a commencé comme assistant de recherche auprès de TNEP et il a rapidement accru sa contribution, devenant ainsi le principal co-auteur de *Whole-System Design* (2008), puis co-auteur de *Facteur Cinq* (2009) et *Energy Transformed* (2010). Peter possède une licence avec mention très bien en génie mécanique de l'Université d'Adélaïde, et une licence en sciences mathématiques et informatique. Il a présenté sa thèse de maîtrise en conception de systèmes-complets à l'Université d'Australie du Sud, sous la direction du Professeur associé Kazetn Abhary et du Professeur Lee Luong. Peter termine actuellement un doctorat en conception de systèmes sous la direction des Drs Paul Compston, Barry Newell et Haley Jones à l'Université Nationale Australienne.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes et les groupes ci-dessous pour avoir rendu possible la rédaction et la publication de ce livre.

Tout d'abord, un remerciement spécial va aux familles des auteurs. Ernst von Weizsäcker tient à remercier son épouse Christine pour avoir enduré encore une autre période d'écriture d'un livre et pour ses commentaires souvent surprenants, et son fils Jakob von Weizsäcker et sa fille Paula Bleckmann, qui, mis au défi, se sont montrés pleins de bonnes idées. Charlie tient à remercier sa femme, Stacey, pour son soutien patient et affectueux et pour la joie qu'elle a apportée dans sa vie. Mike tient à remercier sa femme Sarah Chapman pour son amour, son soutien et pour avoir partagé la passion de sa vie pour le design et la durabilité environnementale. Cheryl tient à remercier sa famille pour leur amour et leur soutien à son engagement dans l'ingénierie durable. Peter tient à remercier sa fiancée Jacqueline, ainsi que sa famille et ses amis pour leur amour et leur soutien. Les auteurs tiennent également à remercier Fatima Pinto pour ses inlassables efforts pour gérer le bureau de The Natural Edge Project (TNEP), Candia Bruce de « *Working On It* » pour son soutien incroyable à notre équipe, et bien sûr Harry "Bunny" Desha pour son influence positive sur l'esprit d'équipe.

Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude à la fois à Amory B. Lovins et à L. Hunter Lovins, en tant que co-auteurs de l'œuvre originale *Facteur Quatre*, pour avoir accepté que cette suite soit écrite et leurs réflexions passées et leurs travaux à venir puissent être plus amplement exploités. Depuis la rédaction de *Facteur Quatre*, Amory et Hunter ont activement cherché à accroître l'étendue des solutions de développement durable, et ils sont à l'origine de toute une série d'ouvrages sur lesquels celui-ci repose largement. Amory Lovins, cofondateur, président et directeur scientifique du Rocky Mountain Institute (RMI), a été à la tête du développement de toute une série de publications singulières, et il a en particulier co-écrit 29 livres, qui représentent la somme de près de quatre décennies de recherche

et d'expériences concrètes. Parmi ces livres se trouvent en particulier *Natural Capitalism*, *Winning the Oil Endgame* et *Small is Profitable* – plus des centaines d'articles, y compris de nombreux travaux sur la conception automobile, notamment de voitures et de camions, sur lesquels repose une grande partie du chapitre 5 de ce livre. Hunter Lovins dirige l'équipe de Natural Capitalism Solutions (NCS), après avoir co-fondé le Rocky Mountain Institute et y avoir travaillé pendant plus de 20 ans ; il est considéré comme l'un des meilleurs penseurs et vulgarisateurs de la durabilité dans le monde. Hunter Lovins a co-écrit 9 livres, dont *Natural Capitalism*, et elle a été consultante pour d'innombrables sociétés industrielles et administrations du monde entier. Hunter est également Professeur fondateur en entrepreneuriat à la Presidio School of Management, l'un des premiers cursus accrédités pour délivrer un MBA en gestion durable.

Les auteurs de ce livre ne sont bien sûr pas les seuls à avoir travaillé et prolongé les idées fondatrices de *Facteur Quatre*. Suite aux travaux des co-auteurs de ce livre, un certain nombre de leaders de ce domaine ont travaillé de nombreuses années durant pour faire progresser la question du développement durable et de la productivité des ressources, et ils ont apporté leurs idées et en même temps assuré le développement de *Facteur Cinq*. Nous tenons à mettre en avant et à remercier les personnes suivantes pour leurs nombreux efforts : Paul Anastas, Ray Anderson, Geoff Andrews, Dan Atkins, Alan AtKisson, Janine Benyus, Rairnund Bleischwitz, Michael Bratmgart, Lester Brown, Val Brown, Greg Bruce, Gro Brundtland, Rachel Carson, Stephen Chu, Stephen Dovers, Dexter Dunphy, Wolfgang Feist, Klaus Fichter, Tim Flannery, Thomas Friedman, Brendan Gleeson, Peter Gleick, Al Gore, Leo Jensen, Eberhard Jochem, Eng Loc Lee, Ian Lowe, Bill McDonough, Jim McNeill, Dennis Meadows, Donella Meadows, Peter Newman, Molly Olsen, David Orr, Alan Pears, Rajendra Pachauri, Jonathon Porritt, Robert Purves, Jeffrey Sachs, Friedrich Schmidt-Bleek, Walter Stahel, Nicholas Stern, Björn Stigson, Philip Sutton, David Suzuki, Klaus Töpfer, Louise Vickory, Che Wall, Barbara Ward, Paul Weaver, James Woolsey, Ernst Worrell et Cathy Zoi. Décrire les efforts de chacun d'entre eux sortirait du cadre de ce livre. En plus de toutes ces personnes, de nombreux organismes de R&D, des universités, des ONG, des entreprises et des organisations du monde entier ont contribué à promouvoir et à faire avancer les idées de *Facteur Quatre*, comme les recommandations de construction écologique, les groupements économiques durables et les fondations de conservation, pour n'en nommer que quelques-unes.

Les auteurs tiennent également à remercier Wolfgang Feist pour sa contribution au chapitre 2, et Klaus Fichter, Roland Geyer, Dexter Dunphy et Susan Benn pour leur contribution aux études de cas supplémentaires qui ont été publiées sur Internet. Notre gratitude va également à Greg Bratman, Angie Reeves et Andrew Went pour leur aide enthousiaste aux recherches menées pour développer ce livre, et en particulier à Greg Bratman à la fois pour avoir contribué à ces recherches et pour avoir accompagné Ernst von Weizsäcker tout au long du processus de recherche et d'écriture. Les étudiants d'Ernst von Weizsäcker et la Faculté de la Bren School for Environmental Science and Management de

l'Université de Santa Barbara en Californie ont grandement contribué à faire avancer le débat sur la productivité des ressources au cours de ces dernières années ; les contributions du Professeur Roland Geyer et de l'étudiante en thèse de doctorat Vered Doctori-Blass ont été particulièrement précieuses. Ernst souhaite aussi mettre en avant les nombreuses et fructueuses discussions sur la question du découplage entre niveau de richesse et consommation de ressources, dans le cadre du Groupe international pour la gestion durable des ressources du PNUE, en particulier avec le Professeur Mark Swilling de l'Université de Stellenbosch en Afrique du Sud et le Professeur Marina Fischer-Kowalski de l'Université de Klagenfurt en Autriche.

Le texte de ce livre a été relu et corrigé par l'éditeur professionnel de TNEP, Stacey Hargroves, qui travaille à l'Université Griffith. Les auteurs tiennent à la remercier pour sa patience et l'attention qu'elle porte aux petits détails.

Le travail sur les graphismes originaux et les améliorations des graphiques existants (préparation des versions couleurs et noir et blanc) ont été réalisés par le talentueux graphiste Roger Dennis et le directeur technique de TNEP Peter Stasinopoulos. Ernst von Weizsäcker a personnellement participé à la prise en charge des coûts supplémentaires liés à l'impression couleur de la version anglaise du livre relié.

Les auteurs tiennent également à remercier les mécènes du livre :

- La Fondation Kathy Beys d'Aix-la-Chapelle, qui s'est concentrée sur la promotion des questions conceptuelles et pratiques de la productivité des ressources pour le bénéfice de tous, en particulier Stephan Baldin.
- L'Université Griffith, d'une part pour avoir accordé une bourse pour développer ce livre, en particulier le Vice-chancelier adjoint (pour la recherche) et Professeur Lesley Johnson ; d'autre part, pour avoir pris en charge les aspects administratifs de TNEP, en particulier le Pro-Vice-Chancelier pour la Science, l'Ingénierie, l'Environnement et la Technologie (SEET), le Professeur Ned Pankhurst ; le Doyen du SEET (recherche), le Professeur Gillian Bushell ; et le Directeur du programme de recherche urbaine, le Professeur Brendan Gleeson.
- Le Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) australien, en particulier son Directeur pour l'Environnement, le Dr Andrew Johnson.
- Conics Ltd, une société de conseil en services de développement australienne, qui s'est concentrée sur des projets de croissance et d'infrastructures urbains durables, et en particulier les partisans de longue date de TNEP et mentors, le président Jim McKnoulty, et l'associé et chef de projet senior Cameron Hoffmann.
- L'Université Nationale Australienne (ANU), pour avoir hébergé les membres de TNEP, en particulier le directeur de la Fenner School of Environment and Society, le Professeur Stephen Dovers ; le Directeur exécutif de l'Institut du

Changement Climatique de l'ANU, le Professeur Will Steffen ; et le Doyen associé pour le premier cycle à la Faculté des ANU technique et informatique, le Dr Paul Compston.

Nous tenons également à remercier Earthscan pour les efforts que son personnel a dédiés au développement du livre en anglais, en particulier Jonathan Sinclair-Wilson, Rob West, Michael Fell et Claire Lamont. Nous tenons également à remercier les éditeurs des traductions, en particulier Thomas Tilcher de Drömer Knaur (traduction allemande) et Clare Sun de Shanghai Century Publishing Co. (traduction en chinois mandarin), et nous nous réjouissons de l'opportunité de traduire le livre dans d'autres langues.

Enfin, l'équipe de The Natural Edge Project tient à remercier Ernst von Weizsäcker pour son engagement dans ce projet et pour avoir bien voulu être notre mentor. Travailler avec Ernst aura été une expérience incroyable, qui continuera à influencer notre travail pendant encore de nombreuses années à venir.

Sigles et abréviations

3CEE	Three Country Energy Efficiency Project
ACF	Australian Conservation Foundation
ACTU	Australian Council of Trade Unions
AIE	Agence internationale de l'énergie
AISI	American Iron and Steel Institute
ANU	Université Nationale Australienne
ASHRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BAU	business as usual
BBC	Bâtiments basse consommation
BedZED	Beddington Zero Energy Development
BIPV	building-integrated photovoltaic
BOMA	Building Owners and Managers Association
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAFE	Corporate Average Fuel Economy
CCI	Clinton Climate Initiative
CCV	chauffage, climatisation et ventilation
CDM	Clean Development Mechanism 7
CEPHES	Cost Efficient Passive Houses as European Standards
CER	certificat de réduction d'émissions
CFC	Chlorofluorocarbure
CFI	Carbon Financial Instrument
CIMIS	California Irrigation Management Information System
CNUEH	Conférence des Nations Unies pour l'Environnement Humain
COT	Conception orientée trafic

COV	composé organique volatil
CPI	consumer price index
CSAA	California State Automobile Association
CSC	Capture et séquestration de carbone
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
CSO	civil society organization
CSR	corporate social responsibility
DEFRA	Ministère britannique de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales
DERA	Diesel Emission Reduction Act
DEWHA	Ministère australien de l'Environnement, de l'Eau, du Patrimoine et des Arts
DFID	Department for International Development
DJSI	Dow Jones Sustainability Index
DWD	Drinking Water Directive
ECBC	Energy Conservation Building Code
ECE	European Climate Exchange
ECS	Eau chaude sanitaire
EDF	Environmental Defense Fund
EMS	Environmental Management System
ETR	ecological tax reform
ETS	Système européen d'échange de quotas d'émission
FAO	Food and Agricultural Organization
FIT	feed-in tariff
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GJ/t	gigajoule par tonne
GNV	gaz naturel pour véhicules
GPS	Global Positioning System
GRI	Global Reporting Initiative
Gt	gigatonne
HBI	hot briquetted iron
HCCI	homogeneous charge compression ignition
HDU	hybrid drive unit
HFC	hydrochlorofluorocarbone
HPE	à haute performance énergétique

ICLEI	Conseil international pour les initiatives écologiques locales
IDH	Indice de Développement Humain
IET	International Emissions Trading
IFAD	International Fund for Agricultural Development
IISI	International Iron and Steel Institute
IPE	Indice de performance énergétique
ISEW	Index for Sustainable Economic Welfare
JI	Joint Implementation (projets)
kPa	kilopascal
kWh/t	kilowattheure par tonne
L/100 km	litre pour 100 kilomètres
LATS	Landfill Allowance Trading Scheme
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LCD	affichage à cristaux liquides
LED	diode à émission de lumière
LEED	Leadership in Energy & Environmental Design
Li-ion	lithium-ion
MCI	moteur à combustion interne
MCS	matériaux cimentaires supplémentaires
MEPS	mandatory energy performance standards
ML/j	million de litres par jour
Mt	million de tonnes
Mt CO ₂ e	million de tonnes d'équivalent CO ₂
NCS	Natural Capitalism Solutions
NEPA	National Environmental Policy Act
Ni-MH	nickel-hydrure métallique
NREL	National Renewable Energy Laboratories
OCDE	Organisation pour la coopération et le développement économique
OIT	Organisation internationale du travail
OMI	Organisation maritime internationale
OMS	Organisation mondiale de la santé
OMC	Organisation mondiale du commerce
ONG	Organisation non gouvernementale
PCIA	Partnership for Clean Indoor Air

PHPP	Passive House Planning Package
PME	Petites et moyennes entreprises
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
pers/h	personnes par heure
ppm	parties par million
PV	photovoltaïque
RMI	Rocky Mountain Institute
SEET	Science, Engineering, Environment and Technology
SUV	Sports Utility Vehicle (véhicule 4x4 de loisirs)
THT	Très Haute Tension
TJ	térajoule
t-km	tonne-kilomètre
TNEP	The Natural Edge Project
tpm	tours par minute
TRAH	Taux de renouvellement de l'air par heure
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, les sciences et la culture
US-AID	Agence de Développement International américaine
US-EPA	Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis
VMC	Ventilation mécanique contrôlée
VRC	Ventilation à double flux avec récupération de chaleur
WBCSD	Conseil mondial des entreprises pour le développement durable

Introduction : l'impératif planétaire

Ernst von Weizsäcker

À la croisée des chemins

L'espèce humaine se trouve à l'aube de grands changements. Jamais jusqu'alors dans l'histoire, nous n'avions été confrontés à plus grand défi. Nous avons tellement réussi à développer nos connaissances et nos savoir-faire que nous sommes à l'origine d'une abondance et une prospérité matérielle inouïe – une prospérité que l'on aurait à peine pu imaginer il y a seulement cent ans. À l'époque, les inventeurs de tous les pays ne pouvaient qu'entrevoir le monde qu'ils contribuaient à bâtir, sans parler des conséquences que ce monde nouveau pourrait avoir sur l'environnement. Les révolutions électriques et numériques ont tellement accéléré ce progrès qu'aujourd'hui, l'espèce humaine couvre l'essentiel des terres habitables de la planète et exploite des ressources aux quatre coins du monde. En ce ^{xxi}^e siècle, nous sommes à la croisée des chemins, où l'ampleur des conséquences de notre population mondiale rejoint la capacité de notre Terre à soutenir notre existence.

En réponse à ces inquiétudes croissantes, une politique favorable à l'environnement a été entreprise il y a des années, qui se concentrait sur la protection de l'environnement, pour que nos petits-enfants puissent profiter de parcs, d'animaux et de récifs coralliens, et pour assurer une bonne qualité de l'air et de l'eau. Pourtant, aujourd'hui, il s'agit de venir au secours de l'environnement et de le préserver en tant que fondement de la vie telle que nous la connaissons. La croissance et le développement de nos pays se sont accompagnés d'une pression croissante sur l'environnement : une pression pour alimenter sans fin en ressources de type pétrole, nourriture, eau, métaux ; une pression pour assimiler des quantités croissantes de déchets, de pollution, de gaz à effet de serre. On se souviendra du ^{xxi}^e siècle comme de l'époque où l'influence des hommes sur Terre sera devenue si grande

qu'elle pourrait bien détruire la capacité du lieu qui les héberge à subvenir à leurs besoins. Ce livre n'aurait pas été écrit si le monde dans lequel on vit était trois fois, ou trois cents fois plus grand. Mais il ne l'est pas, et nous allons rapidement être confrontés au fait que nous endommageons notre planète au point de risquer de rendre celle-ci incapable de maintenir les conditions qui nous permettent de vivre et que nous supposions jusqu'alors comme allant de soi.

Le xx^{e} siècle verra des changements monumentaux se faire. Soit l'espèce humaine utilisera ses connaissances et ses savoir-faire pour changer la manière dont elle interagit avec son environnement, soit c'est l'environnement qui changera la manière dont il interagit avec ses habitants. Dans le premier cas, il nous faudra utiliser les innombrables connaissances que nous avons accumulées durant le dernier millier d'années dans des domaines aussi divers que la physique, la chimie, l'ingénierie, la biologie, le commerce, les affaires et la gouvernance, et les appliquer à l'énorme défi que constitue une réduction drastique de notre pression sur l'environnement. Le second cas correspond par contre au scénario inverse. Il implique le déclin des écosystèmes planétaires jusqu'à ce que ceux-ci atteignent des seuils rendant tout rétablissement illusoire. Il est impossible de savoir ce qui arrivera alors si nous suivons cette voie. Si la température moyenne à la surface de notre planète augmente de 4 à 6 °C, nous ferons face à des changements proprement ahurissants de notre environnement : des mers montant à une rapidité inconnue jusqu'alors, des récoltes et des réserves d'eau baissant drastiquement, des sécheresses, des inondations et des cyclones plus nombreux et/ou plus violents. Choisir une attitude de laisser-faire constituerait un échec pour notre espèce, et un funeste héritage légué à ceux qui nous survivraient. Dans ce livre, nous nous joignons aux nombreux et récents appels des gouvernements de grands pays à baisser de 80 % la pression de l'humanité sur son environnement, et à choisir un chemin réaliste et raisonnable pour atteindre un tel objectif d'ici 2050, conduisant à, et exigeant des innovations déjà approfondies au sein de diverses industries, de multiples communautés et de nombreuses cultures.

Les conclusions du *Rapport Stern* de 2006 sur l'économie du changement climatique¹ donnent un aperçu de ce qui nous attend au sujet du réchauffement climatique. La politique du *business as usual* – c'est-à-dire prolonger les tendances passées à la croissance sans sérieusement découpler croissance et émissions de gaz à effet de serre – conduira à multiplier par deux les émissions annuelles par rapport à l'an 2000. Pour arriver à stabiliser à 450 parties par million (ppm) les concentrations de gaz à effet de serre, il nous faudrait réduire nos émissions annuelles d'au moins 50 %, ce qui représente une division d'un facteur 5 par rapport au scénario *business as usual*. Mais même une trajectoire aussi ambitieuse n'empêchera pas un réchauffement global supplémentaire compris entre 1 et 3,8 °C. Il est possible que pour faire face à ce genre de situation et répondre aux défis qui se présentent maintenant, il nous faille plus que les capacités que notre espèce possède aujourd'hui, et des connaissances plus étendues que celles que nos

1 Stern (2007).

spécialistes possèdent dans chacun de leurs métiers. Et en admettant qu'un tel changement soit indispensable, et qu'il le soit vite, il est possible qu'il nous faille faire preuve de plus d'humilité et de courage que ce qu'en possèdent la plupart de nos dirigeants : du point de vue strictement légal, ceux-ci n'ont de compte à rendre que devant leurs propres électeurs, et pas devant la Terre.

Ce livre n'a pas pour objet de ressasser la litanie des problèmes auxquels nous sommes confrontés. Toute une série de travaux récents conduits par le PNUE, par l'OCDE, par le GIEC², de textes écrits par des auteurs comme Lester Brown³, Al Gore⁴ ou David Suzuki⁵, les ont décrits avec beaucoup de rigueur et de minutie. Ce livre n'a pas non plus pour objet de dépeindre la croissance économique comme l'inévitable raison de la destruction à venir – ce fut le message récurrent de l'économiste Ezra Mishan⁶, et ce qui sous-tendait une bonne part du débat des *Limites à la croissance*⁷ dans les années 1970. Il n'a pas plus pour objet de céder à cette mode récente qui consiste à dénigrer le capitalisme et l'accuser d'être le mal ultime, comme on a pu l'observer après la plongée de l'économie mondiale à partir du second semestre 2008. Mais il ne fait pas de doute que jusqu'à un certain point, nous allons rejoindre certains parmi ceux qui critiquent le capitalisme – par exemple ceux qui soulignent que la dérégulation des marchés financiers a été un désastre et qui appellent à mettre en place de nouvelles réglementations plus strictes. De plus, dans le cadre d'un état écologique du monde, nous avons besoin de réglementations qui empêchent d'investir du capital dans des industries destructrices et, au contraire, encouragent les investissements dans des activités créatrices de valeur et protectrices des trésors naturels.

L'objet de ce livre est de susciter l'espoir. Se contenter de présenter un schéma très théorique de la manière dont la technologie pourrait sauver le monde ne suffit pas. Nous voulons présenter des descriptions concrètes de systèmes complets qui rassemblent et font interagir technologies, infrastructures, réglementations juridiques, formations et habitudes culturelles pour tout à la fois engendrer des progrès économiques et préserver un environnement sain. Pratiquement toutes les stratégies décrites dans ce livre peuvent être appliquées dès maintenant dans tous les pays, les sociétés et les foyers pour atteindre un Facteur Cinq. Cette « approche système-complet » aidera également à dépasser l'*effet rebond* d'une consommation supplémentaire qui engloutirait tous les gains d'efficacité technologique censés économiser des ressources et préserver l'environnement.

Pour donner de la substance et du concret à ce message, nous présentons de nombreux exemples d'amélioration de la productivité des ressources dans les secteurs les plus pertinents, pour montrer que le fameux « Facteur Cinq », ou

2 PNUE = Programme des Nations Unies pour l'environnement. OCDE = Organisation de coopération et de développement économique. GIEC = Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

3 Brown, L. (2008).

4 Gore (2006).

5 Suzuki et Gordon (1991), Suzuki et al. (2007).

6 Mishan (1967).

7 Meadows et al (1972). Traduit en français sous le titre *Halte à la croissance ?* (éd. Fayard, Paris, 1973).

les fameux 80 %, de réduction de l'impact environnemental par unité de production économique, sont à notre portée. L'univers des possibles et ses nombreuses facettes est au cœur de notre livre.

Cependant, même si nous sommes de fervents partisans de l'amélioration significative de la productivité des ressources, il nous faudra aussi étudier un certain nombre d'éléments relatifs à l'idée de *quantité suffisante* (discutés dans le chapitre 11). Il nous faudra établir un certain nombre de règles contraignantes ou de principes capables de susciter d'autres formes de satisfaction que la simple maximisation du flux monétaire ou PNB. Au sujet du capitalisme et des réglementations, ce livre réaffirme la conclusion qu'Ernst von Weizsäcker avait tirée il y a une vingtaine d'années, selon laquelle « le communisme s'est effondré parce qu'il ne permettait pas au système de prix d'exprimer la réalité économique, et le capitalisme pourrait lui aussi s'effondrer s'il ne permet pas au système de prix d'exprimer la réalité écologique. » Les marchés fonctionnent incroyablement bien lorsqu'il s'agit de diriger l'allocation des ressources et de stimuler l'innovation, mais ils ne fournissent pas de quoi assurer le respect de la loi et de l'ordre public, les normes morales, l'éducation élémentaire et la mise à disposition et le bon fonctionnement des infrastructures ; et les marchés sont lamentablement inefficaces, voire carrément contre-productifs, lorsqu'il s'agit de protéger les biens communs et de orienter l'innovation dans une direction durable à long terme. Les sociétés humaines et l'environnement auront tous deux besoin d'un équilibre sain entre biens publics et privés, ou entre État et marchés, comme le suggère le chapitre 10. La vision dominante ces dernières décennies au sein d'une bonne partie du monde, qui poussait à affaiblir et à tourner l'État en ridicule, était profondément erronée. Nous avons vraiment besoin d'États forts et de citoyens engagés, qui travaillent ensemble pour créer un cadre légal et moral solide. De plus, face à ces marchés, les citoyens, les États-nations et les regroupements d'États et de citoyens se doivent d'agir constamment comme des consommateurs, des inventeurs, des travailleurs et des gardiens protégeant de la destruction, dans l'optique d'un progrès technique et de civilisation en harmonie avec les conditions que nous offre la nature.

Que nous le voulions ou non, parler sérieusement de protéger et de restaurer ce sur quoi repose la vie sur Terre soulève de nombreuses questions éminemment politiques.

Trouver un équilibre entre aspirations économiques et impératifs écologiques

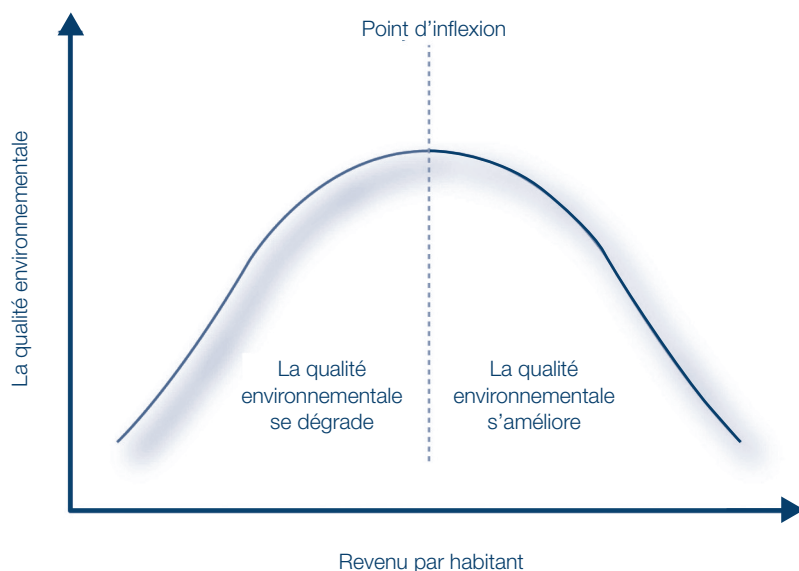
Trouver un équilibre entre biens publics et privés implique essentiellement de trouver un équilibre entre aspirations économiques et impératifs écologiques, et il n'est pas sûr qu'au début de l'histoire des hommes, un tel équilibre existait. L'environnement semblait alors infini dans tous ses usages pratiques, et souvent on le voyait comme hostile. La civilisation humaine s'est développée en domptant des régions sauvages et en maîtrisant les puissances de la nature

pour en extraire certains trésors naturels et certaines ressources. La survie économique et un bien-être toujours accru semblaient être le mandat, la mission naturelle de l'humanité, les effets sur l'environnement semblant rester une question négligeable. Même aux débuts de l'industrialisation, et jusqu'aux années 1960, les effets des activités économiques sur l'environnement semblaient être pour l'essentiel des préoccupations locales et secondaires – une aciérie, une usine chimique, une teinturerie ici ou là. Une petite centrale alimentant les usines en énergie causait une pollution locale de l'air et de l'eau et des problèmes de santé locaux, mais l'environnement en tant que tel, en dehors des villes, ne semblait pas être affecté. Ce n'est que dans les années 1960, au moment où l'humanité approcha des 4 milliards d'individus, que « l'environnement » devint une question politique majeure.

Surmontant les résistances initiales venant de l'industrie, des États démocratiques comme le Japon, les États-Unis, le Canada et les États d'Europe de l'ouest initièrent et adoptèrent une législation de contrôle de la pollution, avec des outils musclés pour s'assurer du respect de la loi – et cela a marché. Rapidement, l'industrie devint plus propre. L'interdiction de quelques substances nocives spécifiques, le filtrage des gaz d'échappement, la purification des eaux usées et enfin la reconception de certains processus furent les leviers qui ont permis de découpler la production industrielle et la pollution qui dérangeait. Après seulement 25 ans, les montagnes de mousse à la surface des rivières avaient disparu, et les agglomérations industrielles, comme la Ruhr en Allemagne, Osaka au Japon, ou Pittsburgh aux États-Unis étaient devenues plus propres qu'elles ne l'avaient jamais été depuis un siècle. Un tel succès surprit de nombreux sceptiques qui pensaient que le problème provenait de la croissance économique en tant que telle. La leçon tirée du contrôle de la pollution a même semblé renverser les anciennes peurs : c'étaient les pays ou les régions riches, toujours en croissance et organisés de manière démocratique, qui nettoyaient le plus efficacement leur environnement, laissant la crasse aux pauvres et aux sociétés non démocratiques. Un paradigme nouveau et très attirant émergea – la courbe de pollution de Kuznets, montrée par la figure 1, selon laquelle ce sont les pays qui ont atteint une maturité économique et des moyens financiers suffisants pour faire face au contrôle de la pollution qui se lancent dans cette direction d'une magnifique harmonie des « riches et propres. »

Durant les années 1980, ce paradigme bien commode commença à dominer les débats sur les interconnexions entre aspirations économiques et impératifs écologiques. Il devint parfaitement respectable, même pour des écologistes, d'affirmer : « laissons croître l'économie, nous nous occuperons des questions d'environnement plus tard. » Naturellement, une telle attitude devint le cadre de pensée standard des dirigeants des pays en voie de développement au sein de toutes les négociations internationales touchant à l'environnement. Et les pays riches du Nord n'avaient que peu d'arguments à y opposer, n'ayant de toute façon nullement l'intention de se porter en contradicteurs.

Figure 1 – Courbe environnementale de Kuznets stylisée.



Source : D'après Grossman et Krueger (1991)⁸

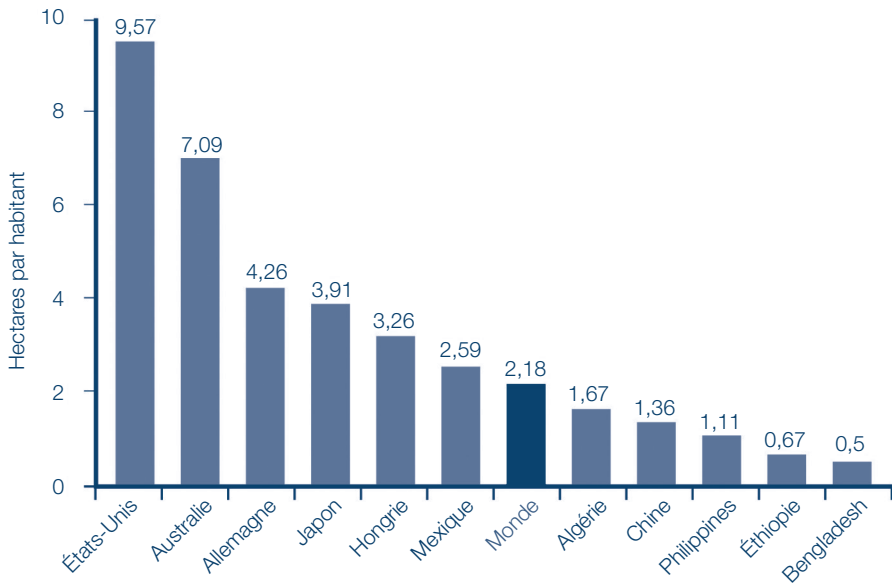
Note : L'histoire du développement se déroule typiquement de la gauche vers la droite, ce qui signifie que les pays commencent par être pauvres et propres, puis qu'ils s'industrialisent, devenant riches et pollués, jusqu'à devenir si riches qu'ils peuvent se permettre de contrôler de manière stricte leur pollution et finir riches et propres.

Hélas, le paradigme de la courbe de Kuznets ne marche pas pour nos problèmes actuels d'environnement planétaire. Le contrôle de la pollution n'est en fait qu'une toute petite partie de la réalité environnementale. Des effets comme le changement climatique, les pénuries de ressources et les pertes de biodiversité suivent une logique totalement différente de celle du contrôle de la pollution. En réalité, ce sont les pays « riches et propres » qui sont le plus à l'origine de ces conséquences. Jusqu'à présent, les empreintes carbone n'ont fait que croître inexorablement avec la prospérité croissante. La situation est encore pire pour les riches si l'on prend en compte leurs émissions historiques de carbone. Les émissions cumulées de dioxyde de carbone sont d'environ 1 000 tonnes par habitant pour les États-Unis, 60 tonnes par habitant pour la Chine, 25 tonnes par habitant pour l'Inde, mais près de 800 tonnes par habitant pour l'Allemagne⁹. Les chiffres sont encore plus élevés pour les pays riches si l'on prend aussi en compte les chaînes d'approvisionnement mondiales. De nombreux pays ont délocalisé les éléments les plus énergivores et les plus intensifs en carbone de leurs chaînes d'approvisionnement dans des pays comme la Chine, dont l'empreinte carbone grossit sans cesse pour le compte d'autres pays.

⁸ Grossman et Krueger (1991).

⁹ World Resources Institute (non daté) "Earth Trends Portal : Cumulative CO₂ emissions 1900-2004" [Portail des tendances sur Terre : émissions cumulées de CO₂, 1900-2004], World Resources Institute, WRI.

Figure 2 – Empreintes écologiques de différents pays.



Source : avec l'aimable autorisation de Mathis Wackernagel, Global Footprint Network.

Quoi qu'il en soit, la forte corrélation entre empreinte carbone et PIB a conduit de nombreuses personnes aux États-Unis comme dans les pays en voie de développement, à croire qu'une réduction des émissions de CO₂ impliquait de réduire le bien-être économique – politiquement, cela était inacceptable. La manière la plus commode de faire face à cette situation était, bien sûr, de nier qu'il existât une quelconque preuve scientifique du réchauffement climatique ou d'un réchauffement supplémentaire causé par l'homme. Heureusement, c'est du passé, du moins en ce qui concerne l'attitude du gouvernement américain. Subsiste néanmoins le défi de trouver un nouvel équilibre stable entre aspirations économiques et impératifs écologiques. De tous les impératifs écologiques, lutter contre le réchauffement climatique est actuellement le plus important. Mais protéger la biodiversité n'est pas un moindre défi. La perte de biodiversité provient essentiellement des changements d'occupation des sols qui, généralement, ont lieu dans le but de produire plus, c'est-à-dire d'obtenir une plus forte croissance économique. L'outil de mesure le plus souvent utilisé pour décrire l'occupation des sols dédiés à la consommation est « l'empreinte écologique », qui évalue la superficie nécessaire pour produire certains biens ou services, ou pour soutenir le niveau de vie moyen des habitants de divers pays. L'empreinte des États-Unis (ou de l'Europe) comprend des terres situées à l'étranger, puisqu'elles sont nécessaires à la production des biens et services qui sont ensuite consommés dans ces pays. Les bananes équatoriennes, le cuivre chilien, l'huile de palme malaisienne, l'empreinte des ordinateurs fabriqués en Chine sur l'ensemble de

leur cycle de vie : tout ceci s'ajoute à l'empreinte européenne, dans la mesure où les Européens consomment des bananes, du cuivre, de l'huile de palme et des ordinateurs. Il n'est donc pas surprenant que les empreintes écologiques des plus riches aient tendance à être les plus élevées de toutes, comme le montre la figure 2.

À notre invitation, Mathis Wackernagel et Kristin Kane s'expliquent plus en détail :

L'empreinte écologique de l'humanité est devenue trop lourde. Selon les travaux de recherche du Global Footprint Network, depuis la fin des années 1980, l'empreinte de l'humanité a dépassé la biocapacité estimée de la Terre. L'empreinte écologique correspond à la superficie biologiquement productive (ou biocapacité) dont une population humaine a besoin pour produire les ressources qu'elle consomme et absorber ses déchets, en utilisant les technologies du moment. Les populations dont l'empreinte est supérieure à la capacité de régénération de la région dans laquelle elles vivent génèrent un déficit écologique. Si l'humanité utilise plus de services écologiques que ce que la nature peut reconstituer, l'humanité est en dépassement planétaire.

Pour savoir ce que nous exigeons de la biosphère, et quelle part de la biocapacité de la biosphère se trouve dans notre région, il nous faut mesurer notre consommation de la nature. Nous avons besoin de descriptions détaillées des ressources qui rendent compte de la quantité de nature dont nous disposons et que nous utilisons. La comptabilité écologique fonctionne comme la comptabilité financière : elle garde la trace des recettes (les services écologiques que la nature fournit) et des dépenses (l'utilisation humaine de ces services écologiques). Comme pour les actifs financiers, il est possible de dépenser plus que ce qui est régénéré. Mais cela n'est possible que pendant une période limitée dans le temps. Un déficit écologique prolongé mène à une faillite environnementale, à des économies qui s'érodent, à une moindre qualité de vie et une instabilité sociale.

Nous obtenons nos ressources des forêts, des terres cultivées, des zones de pêche, des pâturages et d'autres écosystèmes. En outre, les écosystèmes absorbent et assimilent les déchets que nous produisons en consommant des ressources. L'empreinte écologique fait le cumul de ces services rendus par les écosystèmes, exprimés sous la forme d'une superficie biologiquement productive qui est nécessaire pour rendre ces services. En d'autres termes, l'analyse de l'empreinte écologique repose sur un bilan des flux de masse, et chaque flux est traduit en superficie écologiquement productive et nécessaire pour soutenir l'existence de ces flux. L'élément le plus important de notre empreinte, et celui qui croît de la manière la plus spectaculaire, c'est « l'empreinte carbone ». Il s'agit de la superficie nécessaire pour absorber le dioxyde de carbone en trop, obtenu en brûlant des combustibles

fossiles. Comme il s'agit d'une part très importante de notre empreinte globale, on accorde une attention toute particulière à l'empreinte carbone à l'heure actuelle. Toutefois, réduire l'empreinte carbone tout en augmentant d'autres aspects de l'empreinte, comme c'est le cas avec de nombreux agrocarburants de première génération, peut conduire à une perte nette plutôt qu'à un gain.

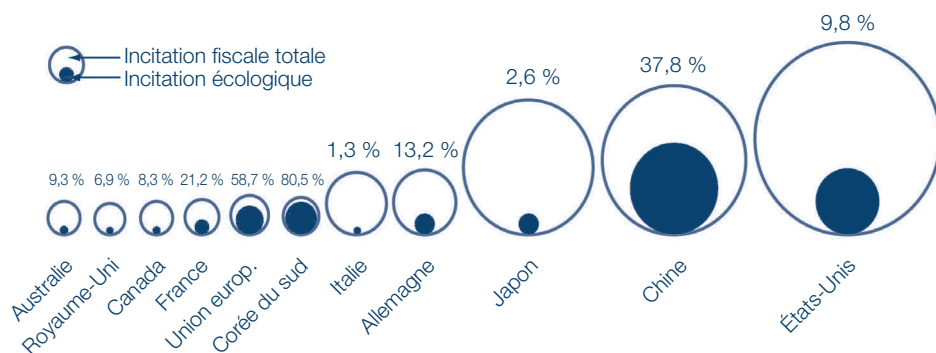
Les dernières estimations du Global Footprint Network ont conclu que ce que l'humanité exigeait en 2005 dépassait d'environ 30 pour cent la capacité de régénération de la planète. En clair, l'humanité est en surcharge écologique. Par personne, la biosphère offre environ deux hectares globaux d'espace biologiquement productif. Un hectare global est un hectare ayant la productivité moyenne mondiale, correspondant au quart de la surface du globe qui est effectivement productif – les trois-quarts restants étant constitués de déserts, de zones englacées et d'océans profonds. L'empreinte moyenne des États-Unis est d'environ dix hectares globaux par personne ; celle de l'Inde est proche d'un hectare global par personne. En d'autres termes, il faudrait environ cinq planètes Terre si toute l'humanité adoptait le mode de vie américain, ou environ la moitié de la capacité de la Terre si tout le monde vivait comme un Indien moyen.

Un New Deal écologique mondial

La seconde moitié de l'année 2008 a marqué le début de la plus grande crise économique depuis 60 ans. Il est probable que cette crise économique, qui est encore sur toutes les lèvres, se fasse sentir pendant quelques années de plus. Des millions de personnes ont perdu leur travail sans en retrouver, et beaucoup d'autres pourraient bien encore perdre le leur.

De nombreux pays ont réagi en adoptant des plans de mesures destinées à stimuler massivement l'économie. Heureusement pour l'environnement et leur durabilité à long terme, la plupart des pays ont mis fortement l'accent sur l'environnement au moment de choisir les mesures à adopter. La banque internationale HSBC, basée à Londres, a étudié ces mesures « vertes ». En moyenne, plus de 10 pour cent de l'argent semble avoir été engagé dans des activités respectueuses de l'environnement. En Corée du Sud, cette part a même été supérieure à 80 pour cent. La figure 3 montre les résultats de cette enquête. Même si l'on peut douter de la légitimité de ces dépenses – et à supposer que HSBC ait choisi des critères assez stricts pour les qualifier de « vertes » – il est clair que certains pays, notamment la Corée du Sud, la Chine, la France, l'Allemagne et les États-Unis, ont essayé d'utiliser ces plans de mesures pour orienter l'économie dans le sens d'un environnement plus sain.

Figure 3 – Éléments à vocation écologiste des mesures de relance budgétaire sur 2008-2009.



Source : D'après des données de HSBC. Schéma publié avec l'aimable autorisation de l'Institut allemand pour le développement (DIE).

HSBC a fait une analyse poussée des plans de relance de 17 pays, afin de savoir quels types d'investissements verts, publics et privés, permettaient d'obtenir le facteur multiplicatif économique le plus élevé¹⁰. Cette analyse a montré que la plupart des investissements pour rendre l'économie peu émissive en carbone conduisaient à des facteurs multiplicatifs économiques élevés, et que les investissements dans l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, les véhicules pauvres en carbone, le transport ferroviaire, et enfin les réseaux électriques « intelligents » et les compteurs « intelligents », fournissaient les facteurs multiplicatifs les plus élevés. Il est intéressant de noter que les mesures de relance de la Corée du Sud et de la plupart des autres pays se sont concentrées précisément sur les secteurs économiques présentés par la première partie de ce livre – à savoir les bâtiments écologiques, les voitures et trains écologiques ultra-efficaces, les vélos, les infrastructures écologiques et le recyclage. Ainsi, la première partie de ce livre est conçue pour aider les pays comme la Corée du Sud à s'assurer que leurs investissements vont maximiser l'amélioration de la productivité des ressources. Par exemple, le plan de relance de la Corée du Sud comprend les mesures suivantes :

- *Habitat* : 6 milliards de dollars US pour (a) la construction d'un million de maisons écologiques ; (b) la remise aux standards d'efficacité énergétique d'un million de foyers ; (c) des mesures d'économie d'énergie dans les villages et les écoles ; (d) l'installation d'ampoules à LED dans les établissements publics. Le chapitre 2 donne un aperçu détaillé de la manière dont on peut améliorer la productivité énergétique dans ce secteur et dont on peut concevoir des maisons écologiques.
- *Forêts* : 17 milliards de dollars US pour (a) la gestion des forêts, y compris la plantation d'arbres pour accroître la capacité d'absorption des puits de

¹⁰ Robins et al (2009).

carbone ; et (b) la construction de nouvelles installations utilisant le bois comme source d'énergie. Le complément Internet du chapitre 3 donne un aperçu des progrès réalisés dans le secteur de l'industrie du papier et des pâtes à papier, et le chapitre 4 étudie les possibilités de culture pour la production d'énergie.

- *Eau* : 11 milliards de dollars US pour la restauration des rivières et la gestion des ressources en eau. Le chapitre 4 analyse en détail comment on peut améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources agricoles, et il donne des pistes à la Corée du Sud comme à d'autres pays pour augmenter la quantité d'eau restituée aux cours d'eau et restaurer les flux naturels et les écosystèmes fluviaux. Tous les autres chapitres de la première partie du livre montrent comment on peut améliorer d'un Facteur Cinq l'efficacité de la consommation d'eau, et donc comment les villes peuvent réduire leur consommation d'eau. Améliorer l'efficacité de l'irrigation et l'efficacité de la consommation d'eau dans les bâtiments résidentiels et tertiaires et dans l'industrie permet également de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour pomper l'eau et pour la chauffer. La première partie de ce livre montre qu'il existe un lien fort entre consommation d'énergie et consommation d'eau dans tous les grands secteurs de l'économie.
- *Voitures* : 1,8 milliards de dollars US pour le développement de véhicules économes en carburant, comme les voitures électriques et hybrides, par les constructeurs automobiles Hyundai et Kia. La première section du chapitre 5 liste les possibilités offertes à ce secteur pour économiser les ressources.
- *Trains et vélos* : 7 milliards de dollars US pour (a) étendre les voies ferrées électrifiées ; (b) construire de nouvelles liaisons ferroviaires à grande vitesse ; et (c) construire plus de 4 000 km de pistes cyclables. Les études de cas du chapitre 5 présentent un certain nombre de meilleures pratiques de ce domaine qui seront utiles à la Corée du Sud et aux autres pays.
- *Recyclage* : 670 millions de dollars US pour le recyclage de ressources, y compris la construction de centrales électriques qui consomment les émissions de méthane produites par les déchets. Faire appel au recyclage pour accroître l'efficacité des matériaux est une stratégie fondamentale pour permettre à de nombreuses industries très consommatrices d'énergie d'atteindre des gains d'un Facteur Cinq de leur productivité énergétique. Les études sectorielles approfondies de la première partie de ce livre montrent comment ces secteurs peuvent augmenter leurs taux de recyclage et utiliser plus de matériaux recyclés comme matières premières, afin d'augmenter fortement leur productivité énergétique et de ressources matérielles. La première partie montre également que dans la plupart des secteurs économiques, il existe un lien fort entre productivité énergétique et productivité des matériaux.

Le gouvernement sud-coréen estime que ces investissements vont stimuler la croissance économique et aider les entreprises sud-coréennes à se placer à l'avant-garde de la prochaine vague d'innovations – l'économie verte. La Corée

du Sud a également pour objectif de devenir le cœur du premier « réseau électrique national intelligent », qui utilise les technologies de l'information et de la communication pour maximiser l'efficacité du transport d'électricité. Cependant, dans l'ensemble, ces plans de relance sont par définition des mesures temporaires, et il est vraisemblable que leur volet environnemental soit très largement inférieur à 1 pour cent du PIB. Que peut-on faire pour que leurs effets sur l'environnement durent plus longtemps ? Pour tenter de répondre à cette question, la proposition suivante a été faite : qualifier toutes ces nouvelles dettes publiques de « dettes climatiques », et obtenir des pouvoirs publics qu'ils s'engagent à rembourser ces dettes grâce à des taxes sur l'énergie ou des permis d'émission de carbone vendus aux enchères. C'est Jakob von Weizsäcker, qui, le premier, a fait cette proposition¹¹. Il s'attendait à ce qu'un tel engagement serve de signal de longue haleine en rendant économiquement moins attractive la consommation d'énergie qui met le climat en danger.

Dans ce livre, nous affirmons que le monde n'aura pas d'autre choix que de rendre son économie verte, indépendamment de la crise financière du moment. Nous appuyons donc pleinement l'idée exprimée par le Directeur exécutif du PNUE, Achim Steiner, d'un « New Deal écologique mondial ». De toute évidence, l'idée reprend la formule « New Deal » de Franklin D. Roosevelt du début des années 1930, qui a contribué à tirer les États-Unis de la dépression profonde qui a suivi l'effondrement de Wall Street en octobre 1929. L'idée d'un New Deal écologique est d'investir de l'argent public pour créer des emplois dans le secteur de l'environnement durable, qui est un bien public. Et le New Deal écologique mondial vise à coordonner les plus grandes économies du monde et donner au New Deal écologique un élan et un volume suffisant. Les engagements nationaux typiques de ceux décrits par la figure 3 sont encore trop timides, à l'exception notable de ceux de la Corée du Sud. Nous supposons que le monde fait encore trop peu confiance aujourd'hui à tout ce qu'une nouvelle révolution technologique verte peut offrir, et nous espérons évidemment que ce livre contribuera à développer cette confiance.

À peu près tout le monde pense que la crise financière finira par prendre fin. Certains ingrédients clés d'un redémarrage économique sont là. La demande est presque sans limite, notamment dans les pays en voie de développement, mais même dans les pays riches dont les marchés semblent saturés, la demande reste en hausse : pour la formation, la santé, les services à la personne, le divertissement. Travail, capital et technologie sont également disponibles pour satisfaire cette nouvelle demande, et la politique montre des signes rassurants. Le sommet du G20 à Londres, en avril 2009, a montré que le partenariat entre les grandes économies du monde prenait une nouvelle direction. Les premières étapes d'une nouvelle régulation des marchés financiers, qui étaient devenus fous, ont été franchies. Et le rêve illusoire de marchés capables de s'auto-stabiliser de manière parfaite face à des États faibles s'est évaporé.

11 von Weizsäcker (2009).

Ce qui semble manquer, c'est une idée claire de la direction à prendre. Claire, elle l'était au cours des siècles précédents lorsque croissance, prospérité et faible attention pour l'environnement étaient les principes directeurs de l'économie à peu près partout dans le monde. Des percées technologiques avaient lieu de temps en temps, stimulant la croissance et suscitant l'enthousiasme. Parmi ces innovations majeures, on peut citer la machine à vapeur, le chemin de fer, l'électricité, l'automobile, les technologies de la chimie, la radio et la télévision, et plus récemment l'informatique, les biotechnologies et les nanotechnologies. On peut aussi considérer la mondialisation des chaînes d'approvisionnement industrielles comme une grande avancée, en particulier parce que cela a permis de maintenir les prix à la consommation à la baisse. Cependant, confrontés à leurs limites naturelles, les progrès de ce genre montrent des signes d'essoufflement. Pour que l'économie mondiale trouve à nouveau le chemin d'un développement stable et solide, il faut une idée claire et tangible de la nouvelle direction à prendre. Fournir cette nouvelle orientation, c'est ce qui sous-tend à la fois le New Deal écologique mondial, et ce livre. Nous croyons que le monde est à l'aube d'un nouveau cycle économique à long terme, un nouveau « cycle de Kondratiev », une nouvelle vague d'innovations.

Les cycles de Kondratiev¹²

Au cours d'une période de récession, les commentateurs parlent souvent, en l'espérant, de la « reprise à venir ». En général, quand ils en parlent, les gens pensent à des cycles économiques courts. Mais il existe aussi des cycles longs, qui durent 30 à 50 ans, et que l'on peut associer à des innovations technologiques majeures, comme celles que nous avons mentionnées précédemment. Même si la littérature économique classique n'en accepte pas toujours l'idée, les cycles économiques à long terme sont un moyen utile pour décrire, caractériser, voire expliquer les grandes périodes d'expansion économique de l'histoire mues par le progrès technique. Le spécialiste précurseur le plus connu pour avoir décrit ces cycles à long terme est le grand économiste russe Nikolaï D. Kondratiev (1892-1938)¹³. Son principal ouvrage, intitulé *Les vagues longues de la conjoncture*, a été publié en 1925¹⁴. Kondratiev lui-même ne mettait pas l'accent sur les évolutions techniques, mais Joseph Schumpeter, le célèbre économiste autrichien (devenu américain), a fait le lien entre les cycles économiques, les cycles à long terme et les grandes innovations technologiques. C'est Schumpeter lui-même qui proposa de rendre hommage à Kondratiev (qui fut tué

12 Ce sous-chapitre et les deux qui suivent résument des discussions plus approfondies sur les technologies et les cycles à long terme présentées par Hargroves et Smith (2005), chapitres 1, 6 et 13.

13 Jacob an Gelderen et Samuel de Wolff sont les deux économistes néerlandais qui, dès 1913, ont proposé l'existence de cycles à long terme. Mais leurs travaux, rédigés en néerlandais, sont restés inconnus de N. Kondratiev, J. Schumpeter et d'autres chercheurs, et ce n'est que récemment qu'ils ont été traduits en anglais.

14 Kondratiev (1925) *Les grands cycles économiques* (russe), traduit et publié en anglais sous Kondratiev (1984). Voir aussi Kondratiev et al (1998).

en 1938 par un peloton d'exécution, durant la « Grande Terreur » stalinienne), en appelant ces cycles longs « cycles de Kondratiev ». Paulo Rodriguez Pereira a fait un compte-rendu détaillé de la discussion sur les cycles longs, en insistant sur ce que ces cycles signifiaient pour les pays en voie de développement¹⁵. Se référant à Joseph Schumpeter, Christopher Freeman et Carlota Perez, Pereira précise que les cycles de Kondratiev ne sont pas un phénomène économique exclusif, mais résultent d'une réorientation de l'organisation et de la gestion industrielle, fondée sur des « technologies sous-tendant le cycle économique en cours. Les cycles de Kondratiev sont donc associés à des changements techniques de grande ampleur¹⁶ ». De cette observation, il déduit qu'il est nécessaire que les pays renforcent leurs capacités technologiques.

Appliquant ce paradigme des vagues de « Schumpeter, Freeman et Perez », Pereira décrit les cinq cycles historiques bien connus :

- le cycle précoce de la mécanisation, à partir des années 1770 ;
- le cycle de l'énergie de la vapeur et du chemin de fer, à partir des années 1830 ;
- le cycle de l'industrie lourde et de l'électricité, à partir des années 1880 ;
- le cycle fordiste et de la production de série, à partir des années 1930 (bien qu'il aurait pu faire démarrer ce cycle-là un peu plus tôt) ;
- le cycle de l'information et de la communication, à partir des années 1980 (il aurait pu ajouter les biotechnologies à la liste)¹⁷.

Notre argument est que, si l'on suit les éléments historiques apparus après la publication de l'œuvre charnière de Kondratiev, la magie des innovations technologiques tend à s'estomper environ 20 à 30 ans après leur apparition. Ainsi, certains ne seront pas surpris face au constat selon lequel même la dernière vague d'innovations en matière de technologies de l'information, de biotechnologies et, plus récemment encore, de nanotechnologies, qui semblait pourtant enthousiasmante, n'est désormais plus assez puissante pour soutenir la croissance économique mondiale.

Le nouveau cycle sera vert

Ceci dit, que l'enthousiasme pour certaines technologies retombe ne suffit pas à engendrer un ralentissement économique massif – et soudain. L'arrogance et les échecs d'une grande partie du secteur financier ont été de manière évidente à l'origine de la crise actuelle. Mais si l'on veut que l'économie retrouve de la vigueur, il se pourrait que ce soit dans une nouvelle et passionnante vague technologique que réside le plus grand espoir du monde. Quelques années avant la crise actuelle, Paul Hawken, Amory Lovins et Hunter Lovins ont eux aussi résumé la théorie des cycles économiques longs dans *Natural Capitalism*, et ont émis l'idée qu'une nouvelle révolution industrielle se déroulait, au cœur de laquelle se trouve l'efficacité

¹⁵ Pereira (1994).

¹⁶ Pereira (1994) page 2.

¹⁷ Pereira (1994) pages 4-6.

énergétique et l'efficacité des ressources¹⁸. À partir de cette œuvre fondatrice, Charlie Hargroves et Michael Smith de The Natural Edge Project, et les co-auteurs de ce livre, ont suggéré dans leur livre *The Natural Advantage of Nations*, publié en 2005, que la vague émergente des technologies vertes pouvait être considérée comme le début d'un nouveau cycle de Kondratiev (comme le montre la figure 4), et ils ont remarqué que l'arrivée de cette nouvelle vague approchait.

Comme nous l'avons déjà souligné, la transformation écologique de certaines technologies et de l'économie est déjà en cours. Nous émettons l'idée selon laquelle le processus de transformation écologique, qui est une réponse logique aux contraintes environnementales, sera à l'origine d'une nouvelle direction claire et tangible susceptible de nous sortir de la récession. Et pour que cela arrive vraiment, une impulsion supplémentaire sera plus que souhaitable. Si l'idée se répand selon laquelle produire plus écologique est inévitable et que cela peut prendre la forme d'un véritable cycle de Kondratiev, nous sommes confiants que la dynamique attendue viendra. Les investisseurs auront alors une vision claire de ce sur quoi ils doivent parier.

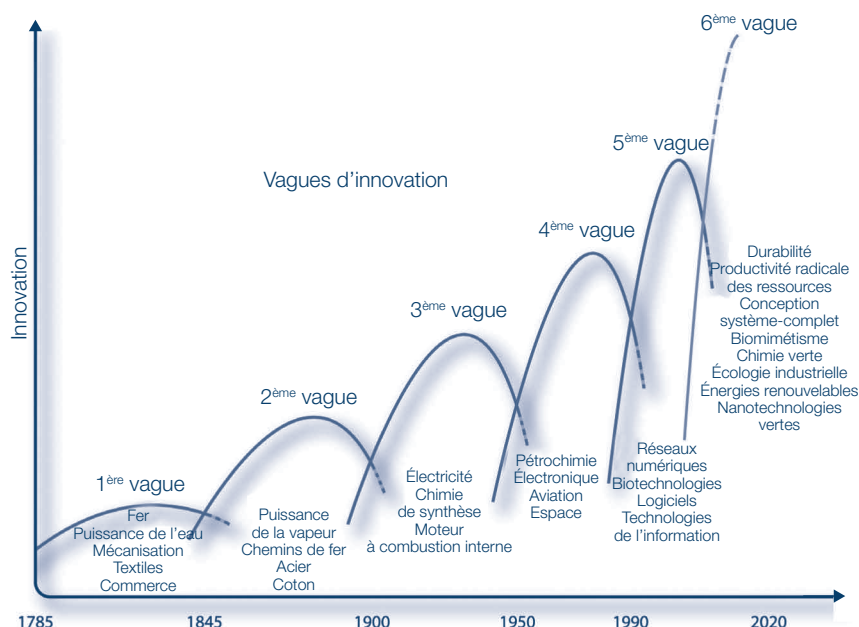
En réfléchissant sur les ingrédients qui pourraient composer un nouveau grand cycle, il est possible que nous en ayons découvert trois que l'on peut retrouver dans chacun des cycles de Kondratiev précédents.

1. Le premier de ces ingrédients, que nous avons précédemment évoqué, semble être le fait que les technologies qui caractérisent un cycle antérieur finissent par cesser d'opérer leur magie. Ce fut le cas des chemins de fer vers 1900. Les découvertes et les innovations de l'électricité, du moteur à combustion interne et des technologies de la chimie suscitèrent un enthousiasme bien plus grand à l'époque que ce qu'aurait pu entraîner une expansion supplémentaire du réseau ferroviaire. Thomas Edison, Gottlieb Daimler et Henry Ford, les découvreurs et les entrepreneurs de la chimie en Europe sont devenus les héros d'une nouvelle vague de croissance et d'innovation. La vague suivante, caractérisée par la pétrochimie, l'aéronautique et les débuts de l'électronique, se produisit presque entièrement aux États-Unis – mais elle a ensuite fécondé le Vieux Continent, Union soviétique comprise. Cette nouvelle vague a été en partie amorcée par le fait que le génie électrique et chimique classique suscitait moins d'enthousiasme.
2. Un second ingrédient d'une nouvelle vague est la forte demande pour de nouveaux produits et services. Il convient de noter, cependant, qu'une bonne part de la demande peut être dormante durant les premières phases de cette nouvelle vague. Le meilleur exemple en est peut-être celui des technologies de l'information. Peu de gens imaginaient que les gros ordinateurs centraux puissent un jour être utiles à tout un chacun. Les machines à écrire électriques, les photocopieurs et les imprimantes étaient largement utilisés, mais ne suscitaient pas l'enthousiasme. Les téléviseurs se sont eux aussi largement répandus, mais personne ne les associait aux écrans d'ordinateur ou à

18 Hawken et al (1999).

l'informatique. La miniaturisation de l'électronique pour économiser du poids dans les avions et les capsules spatiales resta longtemps un sujet « exotique ». Pourtant, lorsque ordinateurs, machines à écrire, écrans de télévision et appareils électroniques miniatures fusionnèrent en une seule technologie, celle de l'ordinateur de bureau, tout un nouvel univers d'applications et de demande émergea. D'incessantes vagues de développement de logiciels, des progrès à couper le souffle dans la miniaturisation et enfin le développement de l'Internet et des moteurs de recherche firent de l'informatique une success story qui paraissait sans fin, engendrant sans cesse son propre surplus de demande. En outre, les premières vagues technologiques firent face à une demande au début timide, mais de la demande supplémentaire germa, s'épanouit au fur et à mesure que l'offre devenait toujours plus abordable. Ce fut certainement le cas pour les textiles, les chemins de fer, les machines-outils, les automobiles, la chimie des plastiques, les engrais de synthèse et les machines agricoles, les produits pharmaceutiques et de diagnostic médical, les appareils électriques, le transport aérien et les robots industriels. Et la fabrication de série, explicitement mentionnée par Rodriguez Pereira pour le quatrième cycle de Kondratiev, a clairement rendu les biens plus abordables, stimulant la demande d'une manière inimaginable au début du cycle.

Figure 4 – Vagues d'innovation.



Source : Avec l'aimable autorisation de The Natural Edge Project¹⁹

¹⁹ Hargroves et Smith (2005) pages 39-42.

3. Le troisième ingrédient d'une nouvelle grande vague est peut-être le plus visible : l'invention et le développement de nouvelles technologies prometteuses – la machine à vapeur, le moteur à combustion interne, la chimie des plastiques, l'aviation, la télévision, la fission de l'uranium, la pénicilline, le laser, les ordinateurs personnels, les systèmes de stockage de données centralisés et les moteurs de recherche – ont tous été célébrés comme de grandes inventions scientifiques ou de grandes percées technologiques. Mais des centaines d'autres inventions ont également été faites sans que de grandes retombées économiques s'ensuivent.

Nous suggérons donc qu'une bonne part de la dynamique qui conduit à un cycle de Kondratiev provient de la combinaison des trois principaux éléments : le fait que l'enthousiasme qu'inspirent les anciennes technologies s'estompe ; une demande croissante de nouveaux produits et services et une offre abordable de ces nouveaux produits et services ; et de nouvelles technologies réellement séduisantes. Quoi qu'il en soit, nous pensons que ces trois éléments sont réunis pour que démarre une nouvelle vague d'innovation très importante, la 6^{ème} Vague d'innovation : le cycle de Kondratiev Vert. Dans ce cadre, nous considérons que le facteur d'entraînement le plus important, c'est la demande. La population mondiale qui a presque doublé depuis l'époque du précédent grand cycle réclame de quoi se nourrir, s'abriter et disposer d'énormes quantités de biens et services supplémentaires, et tout cela dans des conditions de diminution ou de stagnation des approvisionnements en énergie, en eau, en terres et en matériaux. L'effet de serre aggrave considérablement le problème en réduisant davantage les possibilités énergétiques et agricoles. Une certaine lassitude peut également s'observer au sujet des anciennes technologies, notamment parce qu'ils sont considérés comme nocifs vis-à-vis de l'environnement. Même l'informatique et les biotechnologies manifestent des signes de saturation. IBM, l'une des entreprises les plus performantes dans le monde moderne du high-tech, a vendu sa branche de fabrication d'ordinateurs en Chine. Et la Silicon Valley californienne, berceau de la révolution informatique, redirige son attention vers les technologies vertes. Les entreprises de biotechnologie tentent de prouver que ces technologies sont utiles en proposant des cultures résistantes à la sécheresse ou des microbes économes en énergie pour laver et nettoyer. Les nanotechnologies ont été l'objet de nombre de controverses et de questions de droit²⁰, et elles doivent encore prouver leur utilité en tant que technologies permettant d'économiser les ressources. Qui plus est, et c'est là le cœur de ce livre, une large gamme de nouvelles technologies tout à fait fascinantes sont aujourd'hui disponibles, qui promettent d'être à peu près cinq fois plus efficaces dans leur usage des ressources que celles que l'industrie, les ménages et le secteur des services continuent à utiliser de manière écrasante. Nous n'hésitons donc pas à revendiquer et promouvoir un nouveau cycle de Kondratiev Vert.

En réalité, cette vision est étroitement liée à la pensée que Thomas Friedman a développé dans son brillant best-seller *Hot, Flat and Crowded*, publié en 2008²¹. Son livre avait pour sous-titre : *Pourquoi nous avons besoin d'une révolution verte*

20 Bennett-Woods (2008).

21 Friedman (2008).

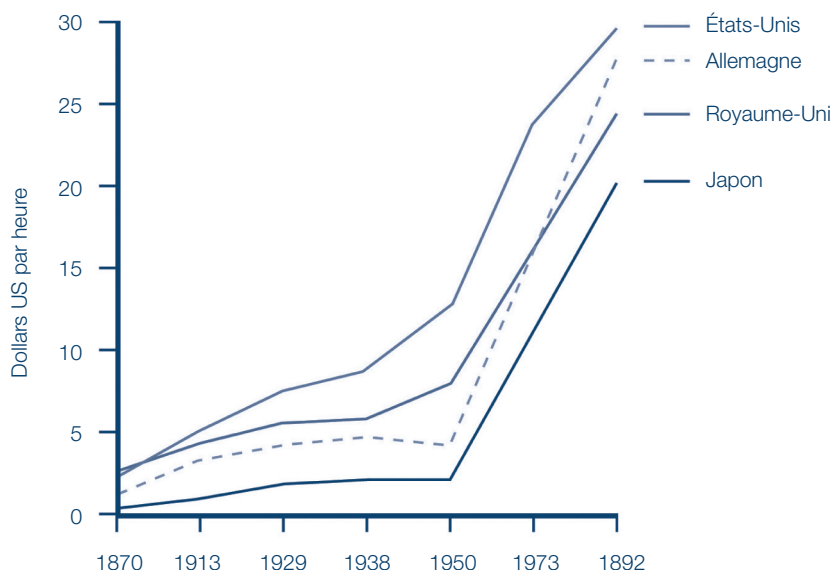
et comment elle peut renouveler l'Amérique. C'est tout à fait ça. Rendre la production et la consommation plus écologique est devenu un levier puissant pour renouveler le tissu d'un pays. Et ce qui vaut pour les États-Unis, devrait être encore plus frappant pour des pays comme la Chine ou l'Inde, moins richement dotés en ressources naturelles, mais avec une croissance beaucoup plus soutenue et une population beaucoup plus nombreuse. Ces deux géants sont devenus les symboles d'un monde « surpeuplé » de bientôt sept milliards d'habitants qui vivent sur une petite planète qui continue à perdre ses forêts, ses terres arables, ses stocks de poisson, ses minerais, ses réserves d'eau potable et ses ressources énergétiques fossiles à un rythme alarmant.

De la productivité du travail à la productivité des ressources

La transformation écologique de l'économie est peut-être un moyen populaire de décrire les innovations auxquelles nous nous attendons dans le cadre du Kondratiev Vert. Mais nous suggérons d'aller encore un peu plus loin sur le plan philosophique : comme les historiens de l'économie en conviendront, nous constatons que les 200 premières années de développement économique de cette ère moderne ont eu comme précepte fondamental l'augmentation de la productivité du travail. La productivité du travail a augmenté à un rythme d'environ 1 pour cent par an durant le ^{xix}^e siècle et la première moitié du ^{xx}^e siècle. Ensuite, et grâce à la propagation accélérée des technologies à l'échelle mondiale, le monde a progressé d'environ 2-3 pour cent par an. Dans l'ensemble, la productivité du travail a été multipliée par 20 durant ces 200 dernières années. La figure 5 montre comme elle a évolué sur environ 120 ans : on peut voir son accélération impressionnante après la Seconde Guerre mondiale.

Aujourd'hui, on ne manque pas de force de travail disponible. Si c'était le cas, l'Organisation internationale du travail (OIT) ne parlerait pas de 800 millions d'emplois manquants pour arriver à une situation de quasi plein emploi. D'un autre côté, comme nous l'avons indiqué précédemment, énergie et ressources naturelles se font plus rares, et cette pénurie s'aggrave décennie après décennie. Une telle situation impose un changement profond de ce que l'on attend du progrès technologique. La productivité des ressources devrait devenir l'objectif principal du progrès technologique actuel. Face à des facteurs de production qui se raréfient, les pays qui rendent ces facteurs plus productifs devraient profiter d'avantages économiques importants par rapport à ceux qui ignorent cette situation nouvelle. C'est une autre manière de souligner la nécessité, pour les économies nationales et pour chaque entreprise, d'un nouveau cycle technologique et d'une nouvelle orientation pour l'économie mondiale. Si l'on fait le lien entre cette nécessité et notre réflexion sur les cycles longs, le Kondratiev Vert devrait devenir le premier cycle au cours duquel la productivité des ressources croîtra plus vite que la productivité du travail. Dans les pays en voie de développement, l'augmentation de la productivité du travail restera bien sûr une priorité, parce qu'ils

Figure 5 – Le développement de la productivité du travail sur 120 ans.



Source : Avec l'aimable autorisation de Raimund Bleischwitz

voudront rattraper les pays industrialisés. Mais ils devraient éviter de le faire au détriment de la productivité des ressources. De nombreuses études montrent qu'une telle orientation contribuera à stimuler l'économie et à créer des emplois, tout en réduisant la pression sur l'environnement. Comme The Natural Edge Project l'explique dans son ouvrage *Cents and Sustainability*, les investissements dans la productivité des ressources vont transformer et stimuler l'économie de trois grandes manières²² :

1. Tout d'abord, les investissements dans la productivité des ressources, comme par exemple l'efficacité énergétique des bâtiments, offrent un facteur multiplicateur plus grand pour l'économie que les dépenses classiques, car les investissements dans l'efficacité des ressources offrent un retour financier sur investissement qui est tangible, et en général, ils font progresser plus vite la productivité. Une étude récente réalisée par McKinsey&Cie²³ en 2007 a constaté qu'en investissant dans l'efficacité énergétique, les émissions mondiales pourraient être réduites de 20 à 30 pour cent d'ici à 2020 sans nuire aucunement à la rentabilité des entreprises ou à la croissance économique. Ainsi, une fois que le retour sur investissement est atteint, généralement dans les 1 à 2 ans, entreprises, ménages et administrations ont des coûts annuels plus faibles et donc plus d'argent à dépenser ailleurs. S'ils choisissent alors de réinvestir cet argent dans une plus grande efficacité des ressources, toujours plus d'argent

²² Smith et Hargroves (2010).

²³ McKinsey&Cie (2007).

sera produit avec le temps, qui pourra lui-même être réinvesti pour stimuler encore davantage l'activité économique.

2. En second lieu, les investissements dans l'amélioration de l'efficacité des ressources et le recyclage produisent plus de bien-être économique que les dépenses classiques sur de nombreux biens et services, car ils réduisent la demande en ressources énergétiques, en eau et en matières premières, et ainsi repoussent le besoin (voire dans certains cas évitent) de dépenser des milliards sur de nouvelles infrastructures d'approvisionnement en énergie et en eau et sur de nouvelles industries d'extraction. Il a pu être montré que les investissements dans l'efficacité des ressources et la gestion de la demande permettaient d'éviter une partie des investissements dans les infrastructures et de les cibler là où cela était le plus nécessaire. Il s'agit là d'un point important, puisque les fonds disponibles sont déjà insuffisants pour financer l'ensemble des projets d'infrastructure que l'on voudrait construire. Prenez le secteur de l'électricité en Australie. Des experts affirment que si la demande actuelle d'électricité continue à augmenter en suivant la tendance actuelle, il faudra investir 530 milliards de dollars australiens dans des infrastructures supplémentaires de production d'électricité. En revanche, en Californie, les investissements dans l'efficacité énergétique, des règles de construction plus écologiques et la gestion de la demande ont permis de stabiliser la demande en électricité au cours des 20 dernières années, alors qu'elle croissait auparavant²⁴. Grâce à ses politiques strictes en matière de changement climatique, la Californie a réussi à réduire de manière significative sa consommation d'électricité par habitant par rapport au reste des États-Unis – une économie nette estimée à 1 000 dollars US par famille. La Suède, le Royaume-Uni et les Pays-Bas ont tous réussi à stabiliser leur demande en électricité qui, auparavant, ne cessait de croître, grâce à des politiques en faveur de l'efficacité énergétique²⁵. Ainsi, des dizaines de milliards de dollars ont pu être économisés en évitant d'investir dans des infrastructures inutiles, ce qui a permis de libérer du capital et de l'investir dans des mesures d'efficacité énergétique supplémentaire, dans des usines de recyclage et dans des systèmes locaux et distribués de production renouvelable d'eau et d'énergie.
3. Enfin, les mesures vertes créent des emplois locaux. Cela se traduit par le fait qu'une part plus grande de l'argent local dépensé pour l'énergie, l'eau et les matériaux va favoriser l'emploi local et l'économie locale. De surcroît, ces nouveaux emplois « verts » locaux ont un effet d'attraction direct, incitant plus de gens à rejoindre cette ville et à contribuer à son économie locale. Les politiques d'efficacité énergétique californiennes ont créé près de 1,5 million d'emplois entre 1977 et 2007²⁶. L'Allemagne affirme avoir déjà

24 Shirley (2006).

25 Smith et Hargroves (2009). Cet article comprend des extraits de Smith et Hargroves (2010), qui décrit comment découpler croissance économique et pressions sur l'environnement pour soutenir une nouvelle ère de croissance « verte ».

26 Roland-Holst (2008).

créé 1,2 million d'emplois verts, 500 000 supplémentaires étant encore à venir. Le Royaume-Uni a annoncé son objectif de créer un million d'emplois verts²⁷. Le président des États-Unis Barack Obama a promis de créer cinq millions d'emplois verts. En Australie, comme on l'a vu précédemment, le Conseil australien des syndicats (Australian Council of Trade Unions ou ACTU) et l'Australian Conservation Foundation (ACF) affirment que près d'un million d'emplois pourraient être créés dans les 20 prochaines années si le gouvernement fédéral encourageait les industries vertes²⁸. Leur rapport de 2008 a montré qu'avec de bonnes orientations politiques, six secteurs de l'économie australienne (énergies renouvelables, efficacité énergétique, systèmes durables de gestion de l'eau, bâtiments verts, biomatériaux et recyclage des déchets), actuellement évalués à 155 milliards de dollars US de chiffre d'affaires et 112 000 emplois, pourraient atteindre 243 milliards de dollars de chiffre d'affaires et 847 000 emplois d'ici 2030²⁹.

Un décollage rapide mais sans à-coups

La question qui suit est de savoir comment on peut lancer un nouveau Kondratiev. Faut-il attendre que le monde entier soit convaincu qu'il faut se diriger vers ce nouveau paradigme ? Est-ce qu'un pays isolé ou des entreprises peuvent faire cavalier seul, ou est-il indispensable que la réalité d'un environnement économique en faveur d'une plus grande productivité des ressources et du reste soit largement acceptée ? Nous suggérons que si des pionniers vont prudemment de l'avant, ils mettront peu, voire pas du tout, en danger leur performance économique. Par exemple, Philips a décidé de se concentrer sur les LED, et Toyota a choisi, en collaboration avec Honda, de présenter une voiture hybride, qui lui a apporté beaucoup de succès au Japon et à l'international. Veolia Environnement a été la première à expérimenter « l'extraction urbaine », c'est-à-dire l'extraction de métaux précieux à partir d'anciennes décharges de déchets. Au cours de la période 1974-1980, le Japon a progressivement abandonné l'industrie manufacturière fortement consommatrice d'énergie, comme par exemple la production d'aluminium à partir de bauxite, et a célébré d'immenses succès dans d'autres branches comme l'électronique et l'optique. L'Allemagne est devenue le leader dans les énergies renouvelables par le biais d'une loi introduisant de généreux prix d'achat garantis.

Toutefois, si certaines circonstances économiques comme des prix de l'essence qui augmentent, des prix de l'électricité élevés au Japon, des prix de la ferraille élevés entre 2003 et 2007, et les inquiétudes relatives au réchauffement climatique, avaient été absentes, ces pionniers n'auraient peut-être pas rencontré un tel succès. Leur situation diffère légèrement de celle des pionniers de la révolution informatique, qui n'avaient pas vraiment besoin de circonstances

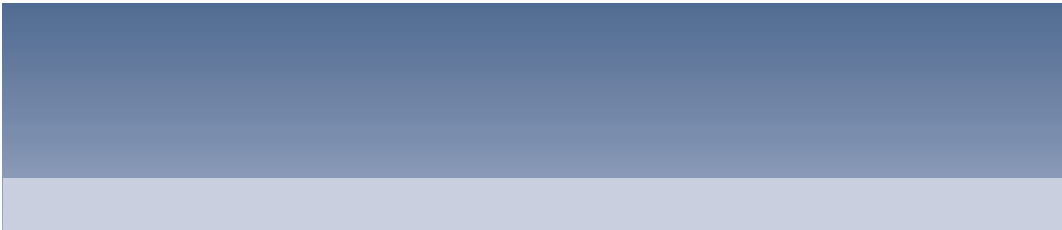
27 ACTU/ACF (2003).

28 ACTU/ACF (2008).

29 ACTU/ACF (2008).

favorables pour faire de leurs nouveautés technologiques des succès commerciaux. Cela montre qu'il serait plus qu'indiqué de prendre certaines décisions politiques pour définir un cadre général approprié si l'on veut qu'un cycle de Kondratiev Vert puisse vraiment démarrer. Nous consacrons d'ailleurs toute la seconde partie de ce livre aux aspects politiques, économiques et psychologiques du cadre général qui permettra de démultiplier l'effet des technologies, d'ores et déjà disponibles, qui améliorent l'efficacité énergétique et utilisent les énergies renouvelables. Et nous allons décrire ces technologies dans la première partie de ce livre, juste après cette introduction. Ceci étant dit, il est possible qu'une transition vers un cycle de Kondratiev Vert soit moins radicale que ce que l'on pourrait craindre. L'approche orientée systèmes qui est adoptée dans ce livre consiste pour l'essentiel à reconcevoir les systèmes industriels, de transports, de bâtiments ou agricoles, qui s'avèrent préjudiciables au climat et à l'environnement. Le processus de reconception, aussi radical qu'il puisse paraître du point de vue philosophique, peut se faire de manière douce et progressive, et être favorisé par des mesures-cadres soigneusement conçues et faisant évoluer l'environnement économique de manière prévisible. Il n'y a nul besoin de détruire une bonne part du capital physique ou financier aujourd'hui investi dans notre monde industrialisé. Il nous suffit d'éviter d'investir de l'argent frais dans des activités et des technologies néfastes et dépassées.

Pour que la transition puisse se faire en douceur, il ne fait aucun doute qu'il nous faille une main-d'œuvre bien formée, des consommateurs éduqués, et une nouvelle génération de chercheurs, d'ingénieurs, de publicitaires, d'investisseurs et de dirigeants politiques. Réussir une transition d'un Facteur Cinq est un défi tout autant technique que social. Renouveler les systèmes éducatifs et les programmes scolaires, encourager un comportement durable, élaborer des politiques et des mécanismes qui permettent au commerce et à l'économie de se développer : tous ces éléments seront essentiels. Ce livre se concentrera, dans sa première partie, sur l'étendue des pistes qui s'offrent à nous pour réaliser de gros progrès de conception, au travers d'études sectorielles détaillées ; dans sa seconde partie, il fournira des éléments d'observation qui montrent comment les pouvoirs publics peuvent soutenir au mieux l'économie, la structure de l'offre et la direction à suivre pour alimenter une transition prospère. Et avant d'aborder les études sectorielles, le premier chapitre de cet ouvrage va aborder un obstacle important à l'adoption de mesures qui permettent d'améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources, à savoir l'échec historique des concepteurs, des ingénieurs, des architectes et des techniciens à adopter une approche système-complet pour identifier et mettre en pratique ces pistes d'amélioration de la productivité des ressources.



Partie 1

Une approche système-complet pour gagner un Facteur Cinq

The Natural Edge Project

Préface aux études sectorielles	57
1 Un cadre pour gagner un Facteur Cinq	63
2 Le secteur du bâtiment	109
3 Le secteur de l'industrie lourde (acier et ciment)	195
4 Le secteur agricole	233
5 Le secteur des transports	265

Préface aux études sectorielles

Au cours des décennies à venir, nous allons être confrontés à l'impératif de changement le plus urgent et le plus vaste que notre espèce ait jamais connu. Depuis qu'elle est apparue sur Terre, une grande partie de l'histoire de l'humanité a été celle de la survie – l'histoire d'une espèce vulnérable mais intelligente qui s'est hissée tout en haut de la chaîne alimentaire de sa planète, et dont certains des membres ont atteint des niveaux d'abondance et de luxe ahurissants. Mais cette histoire commence déjà à tourner au drame, et elle pourrait bien nous obliger à nous battre à nouveau pour notre propre survie. L'industrialisation rapide que la plupart des pays ont connue a eu une conséquence terrible : elle reposait sur des niveaux élevés de pollution, de dégradation de l'environnement et de consommation de ressources, dont les effets rivalisent désormais avec la capacité de la planète à la soutenir. Le prochain chapitre de l'histoire de notre civilisation sera dicté par la capacité de l'humanité à réaliser qu'il nous faudra tous, rapidement et considérablement, réduire notre pression sur l'environnement, en particulier nos émissions de gaz à effet de serre, et il sera aussi dicté par la manière dont nous y réagissons – un défi rendu particulièrement difficile par la crise financière mondiale de 2008.

Le constat qui sous-tend le message de ce livre est que dans les décennies à venir, nous allons devoir mettre en œuvre toute une série de solutions à travers le monde pour sortir l'économie mondiale de la crise économique actuelle, tout en créant un environnement économique qui soit solide et durable pour l'avenir. Car même si la crise financière est grave, une action concertée des pouvoirs publics peut, en seulement quelques années, permettre aux entreprises et aux marchés financiers de se remettre sur les rails. Cependant, le changement climatique est un phénomène à long terme, et ses effets sur l'environnement et l'économie mondiale seront dévastateurs si des mesures appropriées ne sont pas prises. Pour mettre ce constat en perspective, il faut se rappeler que selon les estimations, la crise financière mondiale a provoqué une contraction de l'économie mondiale de près de 7 pour cent en 2009, ce qui représente une croissance nette du PIB de moins 1,3 pour cent – la pire contre-performance de l'économie mondiale en

plus de 60 ans¹. C'est vraiment une conséquence importante. Mais après avoir examiné les aspects économiques du changement climatique, Sir Nicholas Stern est arrivé à la conclusion que si aucune mesure n'était prise, le changement climatique provoquerait sur l'économie une baisse du PIB mondial comprise entre 5 et 20 pour cent chaque année². En pratique, non seulement cela répéterait tous les ans les ravages de la crise financière de 2008, mais la crise s'aggraverait sans cesse, les rétroactions de l'environnement se conjuguant les unes aux autres. Laisser cela se produire serait une catastrophe, et ferait certainement s'effondrer l'économie mondiale. D'un autre côté, Stern estime qu'un effort concerté pour stabiliser à un niveau acceptable les émissions de gaz à effet de serre exigerait à peine 1 pour cent du PIB mondial par an, un faible prix à payer pour sécuriser notre avenir en commun.

La plupart des experts s'accordent désormais pour dire que la manière la moins coûteuse et la plus rapide de réduire les émissions de gaz à effet de serre est de se concentrer sur l'amélioration rapide de la productivité des ressources et de passer à des techniques de production plus sensées. Cependant, remplir un tel objectif exige d'appréhender la société dans sa globalité. Les pouvoirs publics vont devoir revoir leurs politiques économiques, les entreprises et les industries devront réévaluer soigneusement la manière dont elles fonctionnent, chaque corporation devra rapidement renouveler ses programmes d'études et ses pratiques³, les organismes de recherche devront préciser et confirmer les enjeux et les opportunités présentes, les citoyens devront revoir leurs critères d'achat, et ainsi de suite. En 1997, un livre intitulé *Facteur Quatre* a été publié pour aider à faire de tels changements. Dans le cadre de travaux communs entre celui qui fut le fondateur, puis le président de l'Institut Wuppertal pour le climat, l'environnement et de l'énergie en Allemagne, le Professeur Ernst von Weizsäcker, et ceux qui ont fondé et dirigé le Rocky Mountain Institute aux États-Unis, Amory Lovins et Hunter Lovins, ce livre apportait pour la première fois la preuve que nos sociétés pouvaient, avec profit, atteindre des réductions significatives de leur consommation d'eau et d'énergie, et donc une réduction de leur pression sur l'environnement. Le livre est vite devenu un best-seller international, et il a été traduit en 12 langues. Aujourd'hui, il est largement reconnu comme l'un des livres les plus marquants en matière de développement durable. Mais si son message semblait avant-gardiste en 1997, il est devenu véritablement capital plus d'une décennie plus tard, au moment où le monde se rend de plus en plus compte de la gravité de la « crise climatique » – un message que *Facteur Cinq* cherche à mettre à jour.

L'époque des atermoiements est révolue. L'époque du déni est révolue. Nous croyons tous en ce que les scientifiques n'ont cessé de dire depuis de nombreuses années au sujet du changement climatique. Je pense que ce qui

1 FMI (2009).

2 Stern (2007) page 10.

3 Voir Desha et Hargroves (2010).

rend cette question passionnante, c'est qu'il s'agit non pas seulement d'un problème, mais aussi d'une chance. Maintenant que nous avons commencé à définir un cadre pour notre plan de relance économique, nous avons désormais l'occasion de créer des emplois partout dans ce pays, dans l'ensemble des 50 États, pour relancer l'Amérique, pour repenser la façon dont nous consommons de l'énergie, pour réfléchir à la manière dont nous pouvons améliorer notre efficacité énergétique et rendre notre économie plus forte, plus sûre, pour réduire notre dépendance au pétrole étranger, pour nous rendre compétitifs dans les décennies à venir – et en même temps, sauver la planète. Nous ne laisserons pas passer cette chance.

Le président des États-Unis Barack Obama, décembre 2008⁴

Il serait facile de croire que tous les efforts du monde ne pourront rien changer. Mais depuis que *Facteur Quatre* a été publié, de nombreuses équipes d'inventeurs, de concepteurs, de décideurs, de praticiens, dans le monde entier, ont travaillé avec constance pour trouver des solutions vraiment remarquables, qui, mises bout à bout, contribueront à créer un monde durable. Cette suite de *Facteur Quatre* a pour objectif d'expliquer en quoi ces efforts sont importants, d'une manière qui soit facile à comprendre tout en étant rigoureuse et détaillée. Elle est écrite en deux parties bien distinctes : la première partie présente une approche système-complet permettant d'atteindre jusqu'à 80 pour cent de gain de productivité des ressources dans les grands secteurs économiques qui sont de gros consommateurs d'eau et d'énergie (à savoir les bâtiments, l'industrie, l'agriculture et les transports). La deuxième partie présente ensuite des réflexions issues de l'expérience et de l'expertise qu'Ernst von Weizsäcker a pu accumuler au cours des nombreuses années qu'il a passées à préparer pouvoirs publics et entreprises à une transition rapide vers ce type de progrès. Les sujets que couvre la deuxième partie de ce livre incluent les questions de l'efficacité de la réglementation, des instruments économiques et de la réforme de la fiscalité, de la manière de surmonter l'effet rebond, de l'équilibre entre biens privés et publics, et du caractère pertinent de se focaliser sur le fait de se satisfaire de ce l'on a dans un monde civilisé moderne.

Néanmoins, avant de présenter toutes ces informations, nous allons prendre quelques instants pour expliquer comment notre équipe en est venue à travailler sur cette publication majeure avec le Professeur von Weizsäcker. De manière plutôt ironique, c'est avec *Facteur Quatre* que notre périple a commencé, car c'est autour de ce livre qu'en 2002, les jeunes ingénieurs et scientifiques que nous étions se sont rassemblés pour former The Natural Edge Project (TNEP). À une époque où le désarroi commençait à nous gagner face aux choix de développement non durables à travers le monde, et au sentiment que nous ne pourrions faire que peu de choses pour changer la situation, *Facteur Quatre* a montré à notre équipe qu'une grande partie de ce que nous savions de nos pratiques

4 Martin (2008).

professionnelles devait subir une révolution. Suite à cette prise de conscience, notre équipe s'est posé la question : « comment pouvons-nous y apporter notre pierre ? » Et nous avons réalisé que la première étape consistait à apprendre le plus de choses du domaine, puis à concentrer nos efforts sur la réalisation d'une véritable contribution.

En lisant des livres comme *Natural Capitalism* et *Cradle To Cradle*, il est devenu clair pour nous que ces changements, faisant partie de la prétendue « prochaine révolution industrielle », exigeraient une ampleur et un rythme dans sa créativité et ses innovations encore plus grands que lorsqu'il s'est agi de réagir à l'invention de l'électricité, de rester dans la course à l'espace ou même de prendre part à la révolution de l'ère numérique. Comme tant de jeunes ingénieurs et scientifiques préoccupés par l'avenir, nous étions bien conscients que la recherche de solutions innovantes et durables ne cessait de s'accroître, mais jusqu'à ce que nous lisions ces livres (qui, à l'époque, ne figuraient pas dans notre programme d'études de premier cycle), nous n'avions aucune idée que ce genre d'opportunités existait dans tous les secteurs économiques, et que, lorsqu'on les combinait, cela pouvait effectivement faire une grosse différence. La lecture du travail de ces pionniers a alors transformé nos craintes, nos inquiétudes croissantes au sujet de l'avenir en une puissante motivation à se concentrer et contribuer à cette évolution, et c'est ce qui nous a conduits à créer The Natural Edge Project. Une fois sur cette voie, notre espoir et notre enthousiasme n'ont cessé de croître au fur et à mesure que nous réfléchissions à un avenir dans lequel les sociétés du monde entier pourraient véritablement tirer profit de 300 ans d'industrialisation pour créer une existence dont l'empreinte serait réduite et qui pourrait subvenir aux besoins de la vie telle que nous la connaissons.

Notre premier projet initial a été, pendant trois ans, de collaborer avec de nombreux co-auteurs, mentors et conseillers, pour rédiger notre premier livre, *The Natural Advantage of Nations*⁵. Il fut publié en 2005 comme la réponse de la génération suivante à *Natural Capitalism*⁶. Travailler sur ce livre nous a permis de rattraper notre retard en matière de connaissances dans le domaine du développement durable, d'étudier le travail des pionniers et de les rencontrer pour discuter de leurs idées et de leurs expériences. Nous avons été stupéfaits par l'ouverture d'esprit et la volonté d'aider de tous les experts que nous avons sollicités – comme le fait de rencontrer Amory Lovins au cours d'un événement à Canberra, qu'il nous invite à rester trois semaines au Rocky Mountain Institute et nous aide à revoir en profondeur certaines parties de notre livre ; ou de passer de nombreuses heures à écouter avec grande attention Hunter Lovins combler nos nombreuses lacunes autour d'un café ou d'un bourbon ; ou voir Bill McDonough nous appeler au téléphone après avoir entendu parler de notre livre, et prendre le temps de discuter avec nous pour s'assurer que nous avions bien

5 Hargroves et Smith (2005).

6 Hawken et al (1999).

compris son travail ; ou voir Molly Olsen s'assurer de notre participation active au National Business Leaders Forum on Sustainable Development tous les ans. De telles expériences, tout comme celles que nous avons accumulées après avoir terminé l'écriture de ce premier ouvrage – dont une tournée avec Janine Benyus ou Hunter Lovins en Australie, ou le fait de s'asseoir dans le salon de Jim McNeill et de discuter de la meilleure manière de répondre à *Our Common Future*⁷ – nous a permis de prendre ce que nous lisions, de l'explorer sous différentes coutures en échangeant avec ceux qui l'avaient créé, et de nous assurer que notre travail était guidé par leurs dernières avancées et les connaissances qu'ils avaient acquises en dédiant leur vie entière au développement durable.

Ces expériences ont changé notre vie. Par exemple, lors d'une visite à Snowmass en 2003, alors qu'il se tenait dans sa cuisine, nous avons demandé à Amory Lovins ce qu'une équipe de jeunes ingénieurs et de jeunes scientifiques comme la nôtre pouvait faire pour faire la différence dans notre profession. Il a répondu tout simplement que nous devrions contribuer à « vaincre sans violence la mauvaise ingénierie », et il a fait comprendre à notre équipe l'importance qu'il y avait de travailler avec la communauté des ingénieurs pour les aider à partager et à intégrer les idées de *Facteur Quatre* et de *Natural Capitalism*. Cela nous a poussés à concentrer nos efforts sur le fait d'aider tous ceux qui créent, et nous a conduits à écrire un second livre, publié en 2008, *Whole System Design : An Integrated Approach to Sustainable Engineering*⁸. Après avoir écrit ce livre, nous avons souhaité passer à un autre projet qui viserait à soutenir les ingénieurs et les concepteurs. Charlie a eu la chance de rencontrer Ernst von Weizsäcker au cours d'une conférence en Chine, et de l'entendre parler de ses expériences depuis *Facteur Quatre*. Après quelques bières et un peu d'authentique nourriture chinoise, l'idée de développer une suite, *Facteur Cinq*, était née.

Aujourd'hui, quelque deux ans et demi ont passé depuis cette conversation, et à l'heure d'écrire ce dernier paragraphe de notre contribution à *Facteur Cinq* avant d'envoyer le tout à notre éditeur, nous sommes honorés d'avoir pris part à la réalisation de ce livre, et d'avoir eu le privilège de travailler avec Ernst von Weizsäcker, un grand avocat, à l'engagement sans faille, de notre avenir en commun. Nous avons pris la responsabilité de contribuer à une large part de la rédaction de ce livre, et en attendant avec impatience les prochaines collaborations auxquelles nous participerons, nous espérons que les études sectorielles qui suivent seront, pour nos lecteurs, une source d'assurance et d'inspiration aussi grande que *Facteur Quatre* le fut pour nous.

Charlie Hargroves, Michael Smith, Cheryl
Desha et Peter Stasinopoulos
The Natural Edge Project

7 Cela a conduit au développement de Smith et Hargroves (2010).

8 Stasinopoulos et al (2008).

Un cadre pour gagner un Facteur Cinq

Bâtir sur *Facteur Quatre*

En rassemblant 50 études de cas provenant du monde entier, le livre *Facteur Quatre* démontrait en 1997 qu'il était possible d'améliorer de manière à la fois significative et rentable la productivité des ressources. Ce concept a bouleversé la manière dont de nombreux économistes, décideurs publics, ingénieurs, entrepreneurs, chefs d'entreprise pensaient l'innovation, la protection de l'environnement et la création de richesse. Le livre fait partie de ces quelques livres qui furent à l'origine de la création de The Natural Edge Project (TNEP), car non seulement il nous démontrait que des innovations significatives en termes de productivité des ressources, et donc une réduction de la pression sur l'environnement, étaient possibles, mais il montrait aussi que les tâches d'ingénierie et de conception que ces innovations exigeaient étaient fascinantes, même en étant confrontés à une catastrophe environnementale mondiale imminente. Le livre, traduit en 12 langues, démontrait clairement au monde ce que pouvait apporter aux entreprises et aux pouvoirs publics le fait de laisser de côté la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution et de mettre l'accent sur la productivité des ressources et la prévention de la pollution. Plus précisément, les études de cas de *Facteur Quatre* comprenaient :

- 20 études de cas portant sur la productivité de l'énergie, notamment les voitures, les bâtiments, les fenêtres à haute performance énergétique (HPE), les appareils ménagers, les réfrigérateurs HPE, l'éclairage, le matériel de bureau et les ordinateurs, la nourriture produite localement, les ventilateurs/pompes et les moteurs électriques, et la climatisation ;

- 15 études de cas portant sur la productivité des matériaux, notamment les produits durables, les livres et catalogues électroniques, la réduction des flux matériels dans l'industrie, la rénovation plutôt que la démolition de bâtiments, et diverses possibilités de recyclage ;
- 5 études de cas portant sur la productivité de l'eau, notamment la micro-irrigation souterraine, l'efficacité de l'eau dans l'industrie manufacturière, dans le résidentiel, et la réduction de la consommation d'eau dans la production cotonnière ;
- 10 études de cas portant sur les transports, notamment le design automobile, les chemins de fer, les tramways, les réseaux de bus régionaux, la vidéoconférence et le courrier électronique pour éviter les déplacements, et l'auto-partage.

La première partie de ce nouveau livre, *Facteur Cinq*, part de ces connaissances pour démontrer, 15 ans après *Facteur Quatre*, qu'il existe désormais un véritable potentiel pour atteindre de manière rentable une réduction de 80 pour cent de la consommation des ressources, soit une amélioration d'un Facteur Cinq de leur productivité, dans la plupart des grands secteurs économiques – à savoir les bâtiments, l'industrie, l'agriculture et les transports (en outre, un certain nombre d'études sectorielles sont également disponibles sur Internet, couvrant l'industrie du papier et des pâtes à papier, l'industrie des technologies de l'information et le secteur agroalimentaire et de la restauration). Ce nouvel ouvrage a pour objectif, non de remplacer mais de compléter *Facteur Quatre*¹, et nous recommandons à nos lecteurs de commencer par lire ce premier livre. Ainsi, pris ensemble, ces deux livres montrent comment on peut améliorer d'au moins 75 à 80 pour cent la productivité des ressources dans la plupart des secteurs de l'économie. *Facteur Cinq* insiste délibérément sur les secteurs à l'origine de l'essentiel des émissions mondiales de gaz à effet de serre et de la consommation mondiale d'énergie, d'eau et de matériaux. La première partie de ce livre fournit un guide qui décrit les efforts permettant, sur le plan technique, d'améliorer de manière importante la productivité des ressources à moindre coût. La seconde partie de ce livre, intitulée *Faire du développement durable une réalité*, évoque ensuite l'expérience qu'Ernst von Weizsäcker a accumulées sur de nombreuses années, en couvrant de nombreux sujets comme l'efficacité des réglementations relatives à l'environnement, le recours à des instruments économiques, la résolution du dilemme de l'effet rebond, et en présentant sa position sur les réformes fiscales écologiques à long terme, compte tenu de la nécessité d'équilibrer biens publics et privés. Ernst conclut ce livre en développant le concept de « *quantité suffisante* » et le rôle que ce concept jouera dans le futur de notre société mondiale.

Même si cela semble plutôt évident, la première chose à faire avant de concevoir quoi que ce soit est de se poser les bonnes questions, plutôt que de reprendre les réponses obtenues au cours d'un travail de conception précédent :

1 von Weizsäcker et al (1997).

nous avons vu que cela permettait d'améliorer la productivité des ressources, de réduire les coûts, d'obtenir une qualité et un rendement supérieur, et ce de manière significative. Une telle phase est souvent menée au cours d'ateliers de réflexion ou de tables-rondes dédiés à la conception ou au cadrage, auxquels participent les équipes projet et de conception. Elle commence souvent en posant la question de savoir « *quel est le produit ou le service demandé, et sous quelle autre forme ce produit ou service peut-il être fourni avec un impact environnemental moindre ?* » Poser une telle question conduit généralement à sélectionner des idées de conception différentes voire nouvelles, qui peuvent changer radicalement l'issue de la conception tout en rendant le même service. Comme le montrent les études sectorielles présentées par cet ouvrage, il existe désormais toute une gamme de pistes rentables pour répondre aux besoins de la société et fournir des produits et des services qui ont un impact environnemental significativement moindres par rapport aux solutions précédemment en usage. Directeur du département des Pratiques d'ingénierie au sein de l'Institution of Engineers Australia, Martin Dwyer expliquait, réfléchissant au travail décrit par le livre *Whole System Design*, que « penser en termes de système et poser les bonnes questions ouvre bien plus de possibilités de conception et de solutions possibles que ce à quoi nous pourrions penser au premier abord. Et certaines de ces solutions apportent les améliorations spectaculaires qui vont bien au-delà de simples progrès incrémentaux² ».

Par exemple, en examinant le besoin de se rencontrer des clients et des partenaires, un certain nombre d'entreprises utilisent maintenant la vidéoconférence pour réduire leur consommation de transport aérien ; ou en réfléchissant à l'éclairage d'un bâtiment, un nombre croissant d'architectes vont exploiter la lumière naturelle, et faire appel à des conduits de lumière et des ampoules de dernière génération pour réduire l'usage d'ampoules gourmandes en énergie ; ou au moment de considérer le besoin en équipements de cuisine, un nombre croissant de restaurants vont désormais s'équiper d'appareils super-isolés afin de réduire la production de chaleur que le système de climatisation devra ensuite compenser. À plus grande échelle, lorsque l'on considère la manière d'alimenter l'industrie du bâtiment en ciment, les entreprises innovantes produisent désormais des géopolymères pour remplacer le ciment Portland à forte intensité énergétique. En outre, les producteurs d'électricité réfléchissent à présent à la manière dont on peut répondre à la demande croissante par des mesures d'efficacité énergétique, qui offrent de vrais avantages pécuniaires à la fois pour le producteur et le client. En posant les bonnes questions dès le début de la phase de conception, ou dès les phases préliminaires de conception lors d'une rénovation, il devient possible de clarifier les résultats fondamentaux de la conception, tout comme la quantité d'énergie et de ressources qui sera nécessaire. Cela permettra alors d'étudier des alternatives permettant d'atteindre aussi les résultats attendus, voire d'étudier les moyens d'en réduire la nécessité. Par exemple,

2 Stasinopoulos et al (2008).

un constructeur automobile peut se demander quel est le service que son produit offre – essentiellement, la réponse est : de la *mobilité*, mais il engendre également l'émission d'importantes quantités de gaz à effet de serre et d'autres polluants. Ainsi l'entreprise peut-elle se poser la question : « existe-t-il une autre manière d'assurer la mobilité tout en réduisant la pression sur l'environnement ? » Comme le chapitre 5 le présentera, cela peut être réalisé à la fois en reconcevant les voitures et en faisant en sorte qu'on en ait moins besoin. Par exemple, en augmentant l'utilisation des transports en commun ou en transférant le transport de marchandises sur des modes à plus faible impact – ces deux possibilités exigeant de concevoir et d'entretenir des véhicules – un nouveau marché potentiel apparaît pour les constructeurs automobiles d'aujourd'hui qui cherchent à être à l'avant-garde (largement comme les sociétés de chemin de fer à vapeur qui se sont mises à fabriquer des voitures au milieu du ^{xx}e siècle).

Ce qui sous-tend ce changement est le fait que, fondamentalement, ce que les gens veulent, ce ne sont plus des barils de pétrole et des voitures, des kilowattheures et des centrales à charbon, des électrons et des ampoules à incandescence, des boîtes de conserve en acier et des cannettes en aluminium. Au contraire, ce qui les intéresse, ce sont les services qu'offrent ces produits, comme de la mobilité, de l'énergie, de l'éclairage, un conteneur dans lequel on peut stocker de quoi manger ou de quoi boire. Au lieu de garder le même état d'esprit au moment de rendre ces services, une approche systémique de la conception va ouvrir la porte et autoriser l'étude de toute une série de nouvelles possibilités très intéressantes. Par conséquent, s'ils sont conçus comme il faut, les mêmes services énergétiques, d'éclairage et de stockage pourront être rendus par des énergies renouvelables, des globes lumineux économes en énergie et de la lumière naturelle, et des cannettes fabriquées à partir de métaux recyclés, le plus souvent recyclables à l'infini. Dans chacun de ces cas, le consommateur n'aura même pas besoin d'être informé des changements internes qui ont eu lieu pour fournir le service qu'ils demandent, mais les réductions atteintes en termes de consommation d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre et de pression sur l'environnement peuvent être considérables. En plus de ces changements internes dans la conception de produits et de services, les consommateurs peuvent bien sûr faire des choix pour réduire leur consommation de ressources et la pression sur l'environnement que cette consommation induit. Par exemple, demandez-vous comment vous pouvez vous rendre au travail autrement qu'en utilisant votre voiture. Ainsi, si se rendre au travail en train était plus rapide, moins cher et plus fiable, prendriez-vous le train ? Nous suggérons que la plupart des gens répondraient « oui », mais la plupart diraient aussi que le système actuel de transport public à disposition n'est ni plus rapide ni plus fiable que le fait de prendre sa voiture. Toutefois, s'il est conçu de manière adaptée, comme c'est déjà le cas dans un certain nombre de villes³, le système de transports publics peut proposer une alternative très compétitive, tout en réduisant

3 Voir Newman et Kenworthy (1999).

la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre par passager de manière significative.

Les études sectorielles choisies pour la première partie de ce livre présentent des secteurs économiques qui répondent à des besoins humains fondamentaux, à savoir : le besoin d'un toit et de lieux pour travailler et se divertir (conception des bâtiments, fabrication d'acier et de ciment) ; le besoin d'eau et de nourriture (pratiques et activités agricoles) ; la mobilité et les échanges de biens et de services (transport). Au fond, pour une bonne part, ces services peuvent être rendus beaucoup plus productifs en ressources, en réduisant à la fois leur consommation de ressources et les impacts associés sur l'environnement – sans compter que leur consommation peut être réduite et remplacée par l'utilisation d'autres services à plus faible impact, voire éliminée grâce à des choix de vie appropriés et en mettant l'accent sur la notion de quantité suffisante, comme le montre le chapitre 11. L'humanité a cherché, innové et expérimenté de meilleures manières de répondre à ces besoins pendant des milliers d'années. Pourtant, comme chacune des études sectorielles ci-dessous va le montrer, il est encore possible d'atteindre un Facteur Cinq, soit 80 pour cent, d'amélioration de la productivité des ressources, si on commence par se poser les *bonnes questions*.

Ces études sectorielles visent à couvrir toute une série de questions fondamentales, applicables à la plupart des secteurs, en particulier les « bonnes questions » suivantes :

- La méthode actuelle pour fournir le produit ou le service est-elle la seule manière de faire ? *(Souvent, la première réponse qui vient à l'esprit est « oui » ; néanmoins, dans la plupart des secteurs, une étude plus approfondie conduit à une toute une série de solutions alternatives – allant de la remise à niveau des systèmes, comme des moteurs économes en énergie au sein d'une application industrielle, à des procédés totalement nouveaux, comme le passage d'un processus de transformation de ressources primaires à un processus utilisant principalement la ferraille pour fabriquer de l'acier.)*
- Si c'est la seule manière, quels sont les principaux postes de consommation d'énergie, d'eau et de matériaux ? Quelles sont les possibilités qui existent pour réduire le besoin en ces ressources primaires ? Quelles possibilités alternatives permettent de fournir ces ressources primaires en induisant une moindre pression sur l'environnement ? *(La recherche de ressources primaires alternatives et de solutions de rechange peut être stimulée par l'obligation de réduire les impacts sur l'environnement, mais aussi dans le cadre d'une stratégie visant à améliorer l'avantage compétitif par la réduction des coûts des ressources primaires, qui se mettront inévitablement à augmenter dans le futur lorsque disponibilité et impacts seront pris en compte.)*
- Si ce n'est pas la seule manière, quelles alternatives rentables peuvent être utilisées pour fournir le produit ou le service avec une moindre intensité en ressources et une moindre pression sur l'environnement ? *(Par exemple, dans*

le chapitre 3, nous montrons que des géopolymères peuvent être utilisés pour fabriquer du ciment avec une intensité énergétique au moins 80 pour cent plus faible, tout en éliminant les importantes émissions de gaz à effet de serre émises par le procédé de fabrication du ciment Portland.)

Une fois trouvées les réponses aux premières questions qui touchent à la meilleure façon de répondre aux besoins exprimés, le système conçu doit être jaugé au regard des meilleures pratiques en vigueur, afin d'évaluer le potentiel de gain. Par exemple, lorsqu'un système de micro-irrigation souterraine qui correspond au niveau de l'état de l'art (comme celui présenté dans le chapitre 4) est choisi (à la place du traditionnel système d'irrigation gravitaire), les concepteurs doivent en étudier les applications pour en comprendre le potentiel et approfondir les paramètres de fonctionnement. Cependant, dans de nombreux cas, le nouveau concept apparaîtra au cours d'une vague d'innovation émergente, comme nous l'avons expliqué dans l'introduction, si bien qu'il est possible que peu ou pas de précédents existent pour servir de point de repère. En outre, même s'il se trouve des exemples d'application du nouveau système, il est peu probable que les processus et méthodologies associés fassent partie des cursus de formation universitaires ou professionnels. Dans ce cas, on pourra utiliser une modélisation basée sur les performances théoriques et calibrée selon les meilleures pratiques en vigueur pour guider ce que l'on peut attendre de la conception. Comme le relevait l'Agence internationale de l'énergie (AIE) en 2006 :

La plupart des procédés industriels sont au moins 50 % plus intenses en énergie que le minimum théorique défini par les lois de la thermodynamique. De nombreux procédés ont une efficacité énergétique très faible et une consommation d'énergie moyenne beaucoup plus élevée que ce qu'offrirait la meilleure technologie disponible⁴.

Même si concevoir des projets qui sortent du domaine des solutions habituelles est en soi un défi, les bénéfices que l'on en retire peuvent être importants, d'autant plus que l'obligation de réduire la pression sur l'environnement ne peut que devenir de plus en plus forte à l'avenir. L'Australien Alan Pears, Professeur associé et pionnier en matière de conception orientée système-complet, affirme que :

J'ai utilisé l'analyse comparative et la modélisation dans le cadre d'une approche orientée système-complet pour améliorer, souvent d'un Facteur 2 ou plus, l'efficacité des ressources de produits et de procédés industriels. Une conséquence passionnante du fait d'appliquer une approche de conception système-complet est que le besoin de traitements en bout de chaîne se trouve considérablement réduit, localement bien sûr, et potentiellement à une échelle plus large, dans l'air, le sol et les cours d'eau.

4 Agence internationale de l'énergie (AIE) (2006d).

Étudier comment on peut rendre plus flexible ce que la conception a produit est tout aussi important, pour pouvoir améliorer son utilité au moment de sa fin de vie⁵. Parmi les possibilités, on trouve : une conception des bâtiments qui permet de réutiliser les matériaux après démolition ; une conception des produits manufacturés et des véhicules qui maximise les possibilités de recyclage ; une conception des systèmes permettant leur alimentation en énergie par des sources renouvelables variées. Par exemple, le chapitre 5 montre qu'il est possible d'améliorer considérablement l'efficacité énergétique des voitures, ce qui ouvre alors de nouvelles possibilités d'utilisation de combustibles et d'énergies renouvelables. Le nouveau concept-car hybride rechargeable de General Motors, la *Voltec*, est conçu de telle sorte qu'il peut aussi bien rouler à l'essence, aux biocarburants ou à l'hydrogène, ce qui permet de s'assurer que, par la conception, la voiture pourra exploiter les carburants quels que soient les mélanges qui domineront le marché à l'avenir.

Une approche système-complet pour la productivité des ressources

Avant de présenter en détail les études sectorielles, il nous faut impérativement aborder un obstacle majeur à ce qui permettrait d'améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources – à savoir le fait que les concepteurs, les ingénieurs, les architectes et les techniciens d'aujourd'hui n'ont pas l'habitude d'adopter une approche de conception système-complet. Les lecteurs les plus perspicaces de *Facteur Quatre* se seront rendu compte que, pour bon nombre d'études de cas présentées, des gains importants d'efficacité des ressources avaient été effectivement obtenus, car la phase de conception avait pris en compte un système entier. Pourtant, même ainsi, de nombreux projets d'efficacité énergétique, d'efficacité de l'eau ou d'efficacité des matériaux se focalisaient uniquement sur des éléments spécifiques plutôt que de considérer le système de manière plus large – par exemple un système de chauffage, de climatisation et de ventilation (CCV) au sein d'un bâtiment, un sous-processus industriel, ou un organe spécifique d'un véhicule ou d'un produit. À bien des égards, c'est la raison pour laquelle ces projets n'ont réussi à saisir qu'une partie des opportunités d'optimisation de la productivité des ressources, et ont donné une image incorrecte de leur véritable potentiel. Dans le passé, la plupart des économies obtenues par des mesures d'efficacité étaient plus limitées que ce qui aurait été théoriquement atteignable si tous les concepteurs avaient travaillé ensemble et considéré l'ensemble du système. Un tel processus était en fait assez fréquent à l'époque victorienne, lorsque ingénieurs et concepteurs étaient formés à des disciplines diverses et pouvaient plus facilement adopter une approche intégrée. Selon le Rocky Mountain Institute qui, grâce au travail d'Amory Lovins, fait renaître l'art de la conception système-complet, « Penser en termes de systèmes complets est un processus par lequel on étudie

5 Stasinopoulos et al (2008).

en profondeur les interconnexions entre systèmes et on recherche des solutions qui résolvent de multiples problèmes en même temps⁶. »

Dans leur livre *Natural Capitalism*, qui a inspiré tant de personnes par la suite, Lovins et ses collègues expliquent que même si bon nombre de solutions actuelles ont été conçues pour être optimisées, dans les faits, ce qu'elles produisent est sous-optimal pour trois grandes raisons : (1) chacun des composants est optimisé de manière isolée par rapport aux autres ; (2) le processus d'optimisation s'attarde généralement aux bénéfices uniques plutôt que multiples ; et (3) on ne n'essaie généralement pas de rendre optimal l'ordre des différentes étapes de conception⁷. *Natural Capitalism* poursuit en disant⁸ :

Au cœur de ce chapitre, et, d'ailleurs, de l'ensemble du livre, il y a l'idée selon laquelle des réductions de 90 à 95 pour cent des matériaux et de l'énergie utilisés sont possibles dans les pays développés sans pour autant diminuer la quantité ou la qualité des services dont les gens souhaitent disposer. Parfois, une telle réduction peut provenir d'un unique bond conceptuel ou technologique [...] Cependant, elle provient plus souvent du fait d'avoir systématiquement combiné des gains successifs. Souvent, les économies proviennent de différentes parties de la chaîne de valeur qui va de l'extraction d'une ressource brute, en passant par chaque étape intermédiaire de traitement et de transport, jusqu'à la livraison finale du service (et même au-delà, jusqu'à la récupération ultime de ce qui reste de l'énergie et des matériaux). Le secret pour réaliser des économies importantes dans une telle succession d'étapes est de multiplier et de combiner les gains : la magie de la composition arithmétique opère alors. Par exemple, si un processus a dix étapes, et que vous pouvez économiser 20 pour cent à chacune des étapes indépendamment des autres, alors en fin de compte, vous vous retrouverez à n'utiliser que 11 pour cent de ce que vous utilisiez au départ – soit une économie globale de 89 pour cent.

En s'appuyant sur ce constat et sur d'autres travaux de premier plan, le livre *Whole System Design : An Integrated Approach to Sustainable Engineering* (2008)⁹, que notre équipe de The Natural Edge Project a écrit (et en partie dédié aux travaux d'Amory Lovins), présente une série d'éléments dans le cadre d'une approche de conception orientée système-complet dont l'objectif est d'aider à obtenir des améliorations significatives dans la productivité des ressources. Ces éléments de conception orientée système-complet combinent et présentent les résultats de nombreuses années d'expérience et d'expertise de pionniers comme Amory Lovins, Alan Pears, Ernst von Weizsäcker, Bill McDonough, Michael Braungart, Ben Blanchard, Michael Porter, John Todd et Janis Birkeland, sous la forme d'axes fondamentaux du processus de conception, à savoir :

6 Rocky Mountain Institute, Wilson et al (1998).

7 Hawken et al (1999) chapitre 6.

8 Hawken et al (1999).

9 Stasinopoulos et al (2008).

- Poser les bonnes questions pour s'assurer que le besoin ou le service est satisfait ;
- Évaluer la solution par rapport au système optimal ;
- Concevoir et optimiser le système pris dans son ensemble ;
- Rendre compte de tous les impacts mesurables ;
- Concevoir et optimiser les sous-systèmes dans le bon ordre ;
- Concevoir et optimiser les sous-systèmes de telle sorte que l'on puisse combiner les gains de ressources ;
- Revoir le système pour y chercher des améliorations possibles ;
- Modéliser le système ;
- Effectuer une veille technologique constante ;
- Concevoir dans l'optique de rendre possibles de nouveaux choix à l'avenir.

Le livre compare ensuite ces actions à celles de l'approche de conception standard, puis il présente cinq exemples détaillés et retravaillés qui montrent d'abord la conception traditionnelle avant de la comparer à une conception orientée système-complet – une manière de présenter suggérée par Amory Lovins. Cependant, l'objectif de *Facteur Cinq* n'est pas de présenter un processus méthodologique ou de conception (contrairement à *Whole System Design*), mais plutôt, comme *Facteur Quatre*, de fournir aux concepteurs qui se lancent dans une telle tâche une démonstration claire et rigoureuse du potentiel d'amélioration considérable de la productivité des ressources dans tous les grands secteurs de l'énergie fortement consommateurs d'eau et d'énergie (première partie du livre), et de permettre aux décideurs et aux chefs d'entreprise de comprendre le rôle des pouvoirs publics dans le soutien de telles conceptions (seconde partie du livre). Définir la forme que doit prendre le processus de conception est à la charge de l'équipe de conception, mais un examen attentif des éléments ci-dessus peut permettre de réaliser des gains plus importants de productivité des ressources. Toutefois, examiner et appliquer avec succès ces éléments, soit à la conception d'un produit ou d'un processus particulier (comme la conception du processus de production d'acier), soit à un projet d'ensemble (comme un bâtiment ou une cimenterie), est à la fois subjectif, itératif et complexe.

La réalité à laquelle concepteurs et ingénieurs doivent faire face aujourd'hui est que, malgré les progrès significatifs que les concepteurs du monde entier ont pu réaliser, la recherche académique en est encore à ses débuts en matière de conception orientée système-complet, et plus généralement d'ingénierie durable. Des contributions comme celles décrites dans *Whole System Design* sont des premiers pas intéressants, et démontrent le potentiel énorme de cette méthodologie pour permettre d'identifier et d'obtenir des améliorations importantes de la productivité des ressources. Mais il reste encore de gros progrès à faire avant que ce domaine ne devienne la norme, ce qui représente un problème en soi. Notre incroyable Terre ne peut pas se permettre d'attendre de

nombreuses années d'essais et d'erreurs, de recherche et de débats, d'articles et de publications, avant que soient prises des mesures pour réduire de manière significative la pression sur l'environnement. C'est pourquoi il nous faut regarder ce qui se fait partout dans le monde, apprendre ce qui se fait de mieux et rassembler rapidement ces connaissances comme base pour obtenir des améliorations importantes de la productivité des ressources dans les décennies à venir. Comme l'explique *Whole System Design* :

Les innovations dans la science des matériaux, comme l'isolation, l'éclairage, les fenêtres HPE et la décentralisation énergétique, créent de nouvelles possibilités pour ré-optimiser la conception des bâtiments. Les innovations se font de manière si rapide qu'une période de six mois est désormais considérée comme longue dans l'univers technologique. Par exemple, prenons un réfrigérateur standard, pour lequel l'essentiel des pertes d'énergie est lié aux transferts de chaleur. Les dernières innovations en science des matériaux en Europe ont permis d'inventer un nouveau matériau isolant qui va permettre aux réfrigérateurs de consommer 50 pour cent d'énergie en moins. On peut trouver d'autres exemples, comme les innovations dans les fibres composites, qui permettent de concevoir des voitures nettement plus légères, ou dans les métaux légers, et que l'on peut utiliser dès à présent dans tous les types de transport, des avions aux trains en passant par les voitures, et qui permettent d'améliorer l'efficacité des ressources dans tout le système¹⁰.

Ce point est particulièrement important car, comme le souligne *Natural Capitalism*, « pour la plupart des objets fabriqués par l'homme, lorsque leur conception se termine et que leur fabrication va commencer, environ 80 à 90 pour cent des coûts économiques et écologiques qu'ils vont avoir sur l'ensemble de leur cycle de vie ont déjà été rendus inévitables¹¹ ». Et comme la durée de conception d'une nouvelle infrastructure, qu'il s'agisse de bâtiments, de véhicules ou de systèmes électriques peut durer plusieurs décennies, les décisions prises par les concepteurs d'aujourd'hui peuvent décider d'une grande partie de la pression sur l'environnement de l'humanité, à la fois pour la génération actuelle et celle à venir – c'est malheureusement la fenêtre de temps sur laquelle il faut faire ces progrès importants dans la réduction de la pression sur l'environnement. Cependant, rassembler ainsi une telle quantité d'informations n'est possible qu'en adoptant un cadre d'organisation. Pour développer les études sectorielles, nous avons donc choisi de structurer notre contenu en suivant la « Matrice de réduction industrielle » présentée dans le 4^e Rapport d'évaluation du GIEC¹². À partir de cette matrice de réduction, nous avons sélectionné huit stratégies clés¹³ :

10 Stasinopoulos et al (2008).

11 Hawken et al (1999) chapitre 6.

12 GIEC (2007) chapitre 7, page 454, tableau 7.5.

13 Le GIEC cite également la capture et la séquestration du carbone comme Stratégie 9, mais dans la mesure où elle n'est pas encore disponible dans le commerce, nous n'avons pas développée cette technologie dans ce livre.

1. l'efficacité énergétique ;
2. la substitution énergétique ;
3. la récupération de chaleur et d'énergie ;
4. les énergies renouvelables ;
5. la substitution des matières premières ;
6. la substitution des produits ;
7. l'efficacité des matériaux ;
8. la réduction des gaz à effet de serre autres que le CO₂.

En guise de préparation et avant de passer aux études sectorielles, nous allons rapidement parler de chacune des stratégies listées ci-dessus pour préciser leur contexte, et ainsi justifier de leur utilisation pour structurer les études de cas. En bref, la Stratégie 1 se concentre sur la réduction des besoins en énergie grâce à toute une série de leviers, les Stratégies 2 à 5 explorant ensuite différentes solutions énergétiques alternatives et faiblement carbonées. Par exemple : la *substitution énergétique* fait référence au fait de remplacer l'utilisation de combustibles fossiles par d'autres formes de combustibles ; la *récupération de chaleur et d'énergie* permet de récupérer de l'énergie dépensée et rejetée sous forme de chaleur pour compenser les besoins en énergie en entrée ; les possibilités de production d'*énergies renouvelables* sont ensuite utilisées pour répondre à la plus faible demande ; et la *substitution des matières premières* se concentre sur le remplacement des matériaux de base qui entrent dans les divers procédés par, en particulier, des matériaux recyclés, dans le but de réduire la consommation de ressources.¹⁶ La Stratégie 6 se concentre ensuite sur les possibilités de remplacement des produits, biens ou services, afin de réduire la consommation de ressources. Dans les différentes études sectorielles qui suivent, on appliquera la Stratégie 7 surtout à l'eau ; cependant, on présentera aussi un certain nombre d'autres possibilités pour améliorer la productivité des matériaux. La Stratégie 8 s'attache à réduire les émissions de gaz à effet de serre autres que le CO₂, dont certains ont un pouvoir de réchauffement global et une durée de vie dans l'atmosphère incroyablement plus grands que le CO₂, et dont les niveaux d'émissions sont en croissance rapide.

Comme les études de cas vont le montrer, des stratégies différentes vont permettre d'obtenir des niveaux variables d'amélioration de la productivité des ressources selon le secteur considéré. Cependant, pour chaque secteur, le message commun est que c'est par une combinaison innovante de stratégies, appliquées à l'ensemble du système dès les premiers stades de la conception ou de rénovation, que l'on pourra atteindre les améliorations de 80 pour cent que ce livre affirme possibles. Par conséquent, plutôt que de présenter une feuille de route, étape par étape, qui listerait les différentes possibilités d'amélioration de la productivité des ressources, les études sectorielles vont proposer, à la manière d'un restaurant, une carte innovante et séduisante qui propose toute

une série de possibilités à explorer, à intégrer et à adapter à chaque résultat de conception ou de projet.

Efficacité énergétique

Explorer les différentes possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique est un thème central de ce livre, car c'est la manière la plus simple, la plus rapide et la plus rentable de commencer à améliorer la productivité de l'énergie et à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Comme le soulignait *Facteur Quatre*, « dans les années 1970, le débat entre économistes et ingénieurs était centré sur la question de savoir si on pouvait atteindre de manière rentable des économies d'énergie de 10 à 30 pour cent. Au milieu des années 1980, les débats portaient sur la fourchette 50-80 pour cent. Dans les années 1990, certains parmi les meilleurs praticiens réussissaient, dans certaines situations, à atteindre entre 90 et 99 pour cent¹⁴ ». Par conséquent, les travaux d'efficacité énergétique ont déjà réussi à atteindre des résultats remarquables – l'Alliance américaine pour les économies d'énergie estimant qu'aujourd'hui, l'économie américaine serait au moins 50 pour cent plus gourmande en énergie si les entreprises et les ménages n'avaient fait aucun gain d'efficacité depuis le début des années 1970. Un article du *Time Magazine* résume cela très bien en affirmant que « cette énergie économisée depuis 1973 représente plus que l'énergie que les États-Unis tirent du pétrole, le double de ce qu'ils tirent du charbon ou du gaz naturel et six fois ce que les États-Unis tirent de leurs centrales nucléaires¹⁵ ».

Ce livre rassemble de nouveaux éléments qui démontrent que, malgré ces progrès d'efficacité énergétique, il reste toujours de nombreuses possibilités d'amélioration disponibles. Par exemple, le Conseil américain pour une économie à haut rendement énergétique fait valoir que l'efficacité énergétique pourrait ajouter 100 milliards de dollars à l'économie américaine, pour un coût de 30 milliards de dollars US¹⁶. De plus, l'expert en conception durable Amory Lovins soutient que les meilleures techniques actuelles pourraient faire économiser aux États-Unis la moitié du pétrole, la moitié du gaz et les trois-quarts de l'électricité qu'ils consomment¹⁷. Cela permettrait aux États-Unis de stopper leurs importations de pétrole, d'offrir aux consommateurs et aux entreprises des factures énergétiques nettement moindres, et de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre du pays. Une étude de McKinsey datant de 2008 a révélé qu'un effort mondial pour améliorer l'efficacité des technologies existantes pourrait avoir « des résultats spectaculaires », en éliminant plus de 50 pour cent de la demande mondiale en énergie d'ici 2020. Les résultats de McKinsey, qui couvrent tous les grands secteurs économiques, montrent que du point de vue économique, investir dans la productivité de l'énergie offre

14 von Weizsäcker et al (1997) page xxvii.

15 Grunwald (2008) citant Lovins (2004).

16 American Council for an Energy-Efficient Economy (2004).

17 Lovins (2004).

un excellent retour sur investissement, « avec un rendement interne moyen de 17 pour cent, ces investissements pourraient générer des économies d'énergie pouvant aller jusqu'à 900 milliards de dollars par an en 2020¹⁸ ».

Dans les études sectorielles qui suivent, nous apportons les éléments à destination de ceux qui conçoivent, planifient, prennent les décisions, et plus généralement à destination de tous les citoyens, pour leur permettre de soutenir les efforts et de veiller à ce que des améliorations significatives de l'efficacité énergétique puissent être réalisées dans tous les grands secteurs de l'économie. Ces études sectorielles s'appliquent à tous les pays de l'OCDE, mais leur pertinence est encore plus grande pour les pays en voie de développement, comme l'explique le McKinsey Global Institute¹⁹ :

En choisissant des voitures et des appareils électriques avec un meilleur rendement énergétique, en isolant mieux les bâtiments, et en choisissant des systèmes d'éclairage et des technologies de production à faible consommation d'énergie, les pays en voie de développement pourraient diminuer la croissance annuelle de leur demande en énergie d'un Facteur plus que 2, et le faire passer de 3,4 à 1,4 pour cent au cours des 12 prochaines années [...] Augmenter leur productivité énergétique leur permettrait de réduire leurs importations de carburant, le coût de construction des nouvelles infrastructures de production d'énergie, leur vulnérabilité à des chocs énergétiques futurs, et de faire en sorte que les générations futures aient elles aussi besoin moins d'énergie. En utilisant uniquement des technologies qui existent déjà et que les économies d'énergie réalisées ensuite rentabilisent, les consommateurs et les entreprises des pays en voie de développement pourraient faire des économies estimées à 600 milliards de dollars par an d'ici 2020 [...] En raison de leurs rendements positifs, les investissements dans l'efficacité énergétique constituent le meilleur moyen de répondre aux besoins croissants en énergie.

Voilà pourquoi ce livre met l'accent sur une approche systémique pour réduire la demande en énergie avec l'optique, non seulement d'engendrer moins de pollution, mais aussi de réduire la demande à laquelle il faut répondre, et donc de faire en sorte qu'il soit plus facile de rendre viables de nouvelles manières de produire de l'énergie (une présentation détaillée de ces nouveaux modes de production d'énergie sort néanmoins du cadre de ce livre). Se focaliser ainsi sur les utilisateurs finaux, qu'il s'agisse des bâtiments, de l'industrie, de l'agriculture, de la production ou de la distribution de nourriture ou du transport, ouvre la porte à des réductions beaucoup plus importantes de la consommation de ressources et de la pollution que ce que l'on pouvait prévoir au départ. Comme Amory Lovins l'explique, les concepteurs peuvent créer « toute

18 McKinsey Global Institute (2007).

19 McKinsey Global Institute (2008).

une cascade d'économies de ressources » le long du chemin qui mène à la centrale électrique, au barrage ou à toute autre source matérielle :

Un ingénieur se penche sur un système de tuyauterie industrielle et relève toute une série de pertes d'énergie qui s'accumulent : le moteur qui entraîne la pompe gaspille une certaine quantité d'électricité en la convertissant en couple, la pompe et le raccord ont leurs propres pertes, et les conduites, les vannes et les raccords présentent tous des frictions internes. Ainsi, l'ingénieur dimensionne le moteur pour compenser toutes ces pertes et fournir le débit attendu. Mais en commençant en aval – au niveau de la conduite au lieu de la pompe – ces pertes se transforment en économies qui s'accumulent. En rendant la conduite plus efficace, on réduit les besoins cumulés en énergie à chaque étape en amont. On peut alors travailler vers l'amont, pour rendre chaque pièce plus petite, plus simple et moins chère, non seulement pour économiser de l'énergie mais aussi une partie du coût en capital. Et chaque unité de frottement économisée au niveau de la conduite permet d'économiser environ neuf unités de carburant et de pollution au niveau de la centrale.

Amory Lovins, du Rocky Mountain Institute, 1997²⁰

Substitution énergétique

D'après le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), « tandis que certains procédés industriels exigent des combustibles particuliers, de nombreuses industries utilisent des combustibles pour simplement produire de la vapeur et/ou de la chaleur industrielle, le combustible étant choisi en fonction de son coût, de sa disponibilité et de la réglementation environnementale en vigueur²¹ ». Cela signifie que dans tous ces cas, il existe une grande souplesse pour utiliser des sources de carburant alternatives ou produire de la vapeur ou de la chaleur sur place, comme par exemple avec du gaz naturel, de la biomasse ou des déchets. Il s'agit là d'un axe d'amélioration différent de celui qui consiste à capturer la chaleur inutilisée et rejetée sur place et qui fait l'objet de la Stratégie 3, ou à utiliser des sources d'énergie renouvelables, comme décrit dans la Stratégie 4. En fournissant sur place des combustibles pour produire de la chaleur et mettre fortement l'accent sur la possibilité de changer de combustible, on peut réduire significativement la quantité de gaz à effet de serre émise par les centrales à combustibles fossiles, en réduisant à la fois la demande réelle et les pertes sur l'énorme réseau de transport et de distribution que la demande exige pour être satisfaite. En outre, si l'on considère la consommation de pétrole pour les activités de transport, remplacer l'essence par des biocarburants appropriés ou de l'électricité permet de réduire de manière significative les émissions liées

20 Lovins (2005). Voir la bibliographie étendue sur www.rmi.org, consultée le 23 janvier 2008.

21 GIEC (2007) page 458.

au transport – par exemple, une entreprise canadienne affirme maintenant produire des biocarburants de seconde génération permettant d’atteindre un Facteur Cinq à Dix de réduction des émissions de gaz de serre²².

Comme le montrera le chapitre 3, les industries de type aciéries et cimenteries utilisent comme combustibles alternatifs des matériaux issus de déchets, comme par exemple le méthane produit par les décharges²³, les pneumatiques, les plastiques, les huiles et les solvants usagés, ou encore les boues d’épuration. Même si au départ, bon nombre de ces matériaux sont dérivés de combustibles fossiles, le 4^e Rapport d’évaluation du GIEC souligne que les détourner de leur destination initiale (décharge ou incinérateur sans récupération d’énergie) se traduit par une réduction globale des émissions de gaz à effet de serre. Le GIEC met en particulier en valeur l’industrie de l’acier pour avoir profité de la disponibilité de déchets plastiques et s’en être servie comme source combustible et matière première alternative au sein du processus de production d’acier²⁴. En prétraitant les déchets plastiques et en les brûlant dans les chaudières à coke et les hauts fourneaux²⁵, la sidérurgie a pu diminuer les émissions précédemment générées par l’incinération et l’enfouissement de ces déchets, et réduire en même temps sa propre consommation de combustibles fossiles. Mettant en avant les résultats de la recherche, le rapport indique que le recours à cette technologie a permis, au Japon, de réduire les émissions nettes de l’industrie de l’acier de 0,6 Mt CO₂e/an²⁶.

Par ailleurs, au sein du processus de production de diverses industries fortement consommatrices d’énergie, comme par exemple la fabrication de produits papetiers, des coproduits sont obtenus qui sont autant de combustibles de mauvaise qualité. Le secteur papetier commence à utiliser divers procédés et technologies pour améliorer l’efficacité de conversion des coproduits de type biomasse pour produire de l’électricité. Par exemple, la liqueur de cuisson issue de la délignification des copeaux de bois (appelée liqueur noire) est normalement brûlée dans une grande chaudière de récupération pour récupérer les produits chimiques utilisés dans ce processus de délignification. Cependant, comme l’explique l’étude sectorielle « Secteur du papier et des pâtes à papier » sur Internet, les technologies comme la « gazéification » permet d’utiliser de manière efficace, non seulement la liqueur noire, mais aussi d’autres biocombustibles comme l’écorce et les déchets d’abattage pour produire un gaz de synthèse qui, après purification, peut être brûlé avec un rendement de conversion élevé (voir www.factorfiveonline.info).

22 Iogen (non daté) “Lowers GHGs, Increases Energy Security, Helps Build Rural Economies” [*Réduire les émissions de GES, améliorer la sécurité énergétique, aider à bâtir des économies rurales*], www.ioget.ca/key_messages/overview/m3_reduce_ghg.html, consulté le 8 avril 2009.

23 US EPA (2005) “Landfill Methane Outreach Program (LMOP)” [*Programme de proximité sur le méthane issu des décharges*], www.epa.gov/lmop, consulté le 31 mai 2008.

24 Ziebek et Stanek (2001), cité dans GIEC (2007) page 458.

25 Okuwaki (2004), cité dans GIEC (2007) page 458.

26 Okazaki et al (2004), cité dans GIEC (2007).

Récupération de chaleur et d'énergie

Le constat suivant surprendra sans doute beaucoup de lecteurs : on estime que pour chaque unité d'énergie consommée, deux autres unités sont perdues ou gaspillées, essentiellement sous forme de chaleur, sans offrir aucun service utilisable. Selon le World Energy Assessment 2000 du PNUD, la raison en est l'existence de pertes énergétiques substantielles dans deux grands domaines : d'une part, lorsque de l'énergie est produite et rendue accessible aux consommateurs (jusqu'à 26 pour cent), et, d'autre part, lors de sa consommation finale par les processus industriels et les divers appareils ou machines (jusqu'à 37 pour cent), le plus souvent sous forme de chaleur basse et moyenne température²⁷. Si l'on prend comme demande mondiale d'énergie primaire, sous toutes ses formes et pour 2005, la valeur de 11,5 milliards de tonnes équivalent pétrole, ainsi que l'a évaluée l'Agence internationale de l'énergie (AIE)²⁸, perdre 63 pour cent de cette énergie correspond alors à des pertes considérables à la fois dans la disponibilité des ressources utilisées pour obtenir de l'énergie et dans les coûts associés, sans oublier les émissions de gaz à effet de serre inutilement produites. C'est la raison pour laquelle, au moment d'étudier les moyens possibles pour réduire la demande énergétique mondiale, de soulager la pression que cette demande impose désormais à l'environnement et de réduire la demande en ressources épuisables, ces deux domaines (production et consommation finale d'énergie) doivent être au cœur de toute stratégie adoptée, en particulier parce que les efforts menés dans l'un et l'autre de ces domaines peuvent être complémentaires. Par exemple, l'accent mis sur la récupération des pertes de chaleur en capturant la chaleur industrielle résiduelle – comme par exemple celle des gaz s'échappant des fours de cimenteries ou d'aciéries, celle produite par les équipements de réfrigération ou de cuisson dans les boulangeries, les restaurants et les supermarchés, ou celle produite par le processus de refroidissement du lait dans les fermes laitières – peut produire de l'électricité et de la chaleur pour une consommation sur place. Cela ne fait pas que réduire l'énergie perdue sous forme de chaleur ; cela permet aussi de réduire la demande d'électricité, et donc les pertes associées à la production et la distribution d'électricité.

Actuellement, dans la plupart des pays, on produit de l'énergie, sous forme électrique, dans des centrales électriques centralisées, que l'on distribue ensuite à travers un vaste réseau de câbles et de pylônes. Dans un tel système, on utilise de grandes turbines à vapeur, des turbines à gaz ou des moteurs à combustion interne pour alimenter des générateurs électriques ; cette électricité peut être ensuite parcourir des centaines de kilomètres pour être acheminée jusqu'aux consommateurs. Ce processus de production

27 PNUD/CME/UNDESA (2000) page 175.

28 Agence internationale de l'énergie (AIE) (2007b) page 74.

d'électricité a un rendement de conversion compris entre 25 et 45 pour cent²⁹ (ce qui veut dire que jusqu'à 75 pour cent de l'énergie contenue dans le combustible peuvent être perdus lorsque le système de production convertit cette énergie en électricité), tandis que le transport sur de longues distances et la distribution près du consommateur a une efficacité d'environ 91 pour cent (ce qui signifie que près de 9 pour cent de l'énergie produite est alors perdue en cours de route)³⁰. Ainsi, avant que l'électricité n'atteigne le consommateur, une grande partie de l'énergie contenue dans le combustible initial a été perdue : c'est sur ce constat que repose l'un des principaux arguments à la fois en faveur de l'efficacité énergétique dans la consommation finale et de la production électrique décentralisée, de préférence renouvelable. En outre, la plupart des applications industrielles ont besoin de chaleur et, actuellement, l'essentiel de ce besoin est satisfait en ayant recours à des chaudières, qui consomment de l'électricité ou brûlent des combustibles fossiles pour chauffer de l'eau et produire de la vapeur. On peut trouver des chaudières sur quasiment n'importe quel site industriel (il y a presque toujours un processus qui a besoin de chaleur), et dans la plupart des bâtiments situés dans des régions plus froides. Sur un site industriel typique, les chaudières peuvent représenter de 20 à 60 pour cent des coûts énergétiques³¹. Les chaudières ont des rendements de conversion énergétique d'au moins 70 à 80 pour cent³² lorsqu'elles sont correctement utilisées et entretenues ; le rendement des circuits de distribution de vapeur associés est très variable, et il est d'au mieux 90 pour cent.

Pour fournir de la chaleur, il existe une alternative à la production centralisée d'électricité, distribuée ensuite par un très grand réseau pour alimenter l'industrie en énergie, et à l'utilisation de chaudières séparées fonctionnant sur place : il s'agit de la désormais bien connue « production combinée de chaleur et d'électricité », ou « cogénération ». Donner une description détaillée de systèmes de cogénération sortirait du cadre de ce livre (le lecteur pourra se référer au programme *Energy Transformed* de TNEP³³), mais l'explication ci-dessous fournit les éléments de base pour permettre aux différentes études sectorielles de proposer des applications pratiques de récupération de chaleur et d'énergie. Typiquement, dans un système de cogénération, on produit à la fois de l'électricité et de la

29 Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) page 4 ; Educogen (2001) page 8 ; Gans et al (2007) page 1 ; Sustainability Victoria (2006) "Fact-Sheets : Cogeneration" [Fiches d'information : Cogénération], www.seav.sustainability.vic.gov.au/manufacturing/sustainable_manufacturing/resource.asp?action=show_resource&resourcetype=2&resourceid=23, consulté le 17 avril 2008 ; Programme des Nations Unies pour l'environnement (non daté) "Energy Technology Fact Sheet : Cogeneration" [Fiche d'information sur les technologies de l'énergie : cogénération], www.uneptie.org/energy/information/publications/factsheets/pdf/cogeneration.pdf, consulté le 17 avril 2008.

30 Lovins (2005).

31 Australian Greenhouse Office (2005c).

32 Elliott et Spurr (1999) page 1 ; Hooper, E. A. et Gillette, R. D. (non daté) "How Efficient is Your Steam Distribution System ?" [Quelle est le rendement de votre système de distribution de vapeur ?], www.swopnet.com/engr/stm/steam_dist_eff.html, consulté le 4 juin 2009.

33 Pour un résumé détaillé, voir la Conférence 3.3 de Smith et al (2007).

chaleur (air chaud, eau chaude ou vapeur) précisément ou près de l'endroit où elles vont être utilisées, en général en utilisant une turbine à gaz et en insérant de la chaleur résiduelle capturée, provenant soit du processus de cogénération lui-même, soit d'autres sources comme des gaz d'échappement produits par un autre processus. Souvent, cela permet de faire d'importantes économies de combustible par rapport à des systèmes de production électrique centralisés et des chaudières séparées, comme le montre la figure 1.1 ci-dessous. En récupérant la chaleur perdue et en la réutilisant dans un processus de cogénération, le rendement énergétique global de la conversion se trouve significativement augmenté par rapport à une production séparée de chaleur et d'électricité³⁴.

Dans un système de cogénération, de l'électricité est produite en utilisant soit des technologies de type moteur ou turbine conventionnelle, généralement alimentées avec du gaz naturel ou du fioul (ou, de plus en plus souvent, par des coproduits de biomasse, comme par exemple dans l'industrie du papier et des pâtes à papier), soit des systèmes nouveaux et peu intensifs en carbone comme les micro-turbines³⁵, les piles à combustible³⁶ ou encore divers renouvelables. Ces systèmes sont ensuite couplés à un système de récupération de chaleur, comme par exemple un échangeur de chaleur, qui va récupérer de la chaleur qui se trouve en général sous forme de vapeur à partir de gaz d'échappement chauds ou de liquides utilisés par des processus de refroidissement de machines. Un exemple typique de telle combinaison, appelée « configuration à cycle combiné », met en jeu une turbine à gaz qui produit de l'énergie, puis les gaz d'échappement de cette turbine pour produire de la vapeur dans une chaudière, et enfin cette vapeur pour obtenir un supplément d'énergie dans une turbine à vapeur. Un exemple de combinaison innovante consiste à utiliser une pile à combustible à haute température alimentée par des combustibles riches en hydrogène pour produire de l'électricité³⁷, puis à récupérer les gaz chauds d'échappement (qui contient du combustible non consommé) pour alimenter la combustion d'une turbine à gaz, cette turbine étant équipée d'un récupérateur

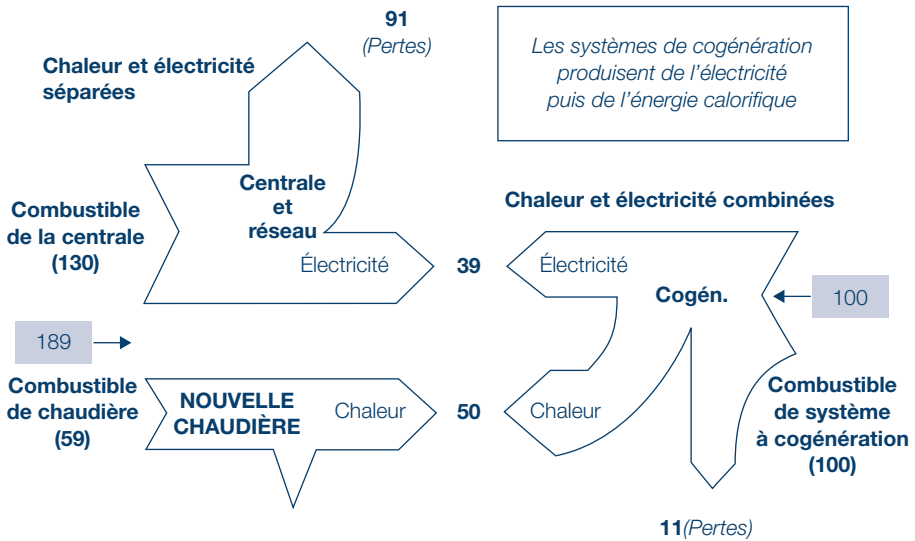
34 Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) page 4 ; Educogen (2001) page 8 ; Gans et al (2007) page 1 ; Sustainability Victoria (2006) "Fact-Sheets : Cogeneration" [*Fiches d'information : Cogénération*], www.seav.sustainability.vic.gov.au/manufacturing/sustainable_manufacturing/resource.asp?action=show_resource&resourcetype=2&resourceid=23, consulté le 17 avril 2008 ; Programme des Nations Unies pour l'environnement (non daté) "Energy Technology Fact Sheet : Cogeneration" [*Fiche d'information sur les technologies de l'énergie : cogénération*], www.uneptie.org/energy/information/publications/factsheets/pdf/cogeneration.pdf, consulté 17 avril 2007.

35 Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) page 5 ; Educogen (2001) page 47 ; Martin et al (2000) cité dans Worrell et al (2004) page 46 ; Programme des Nations Unies pour l'environnement (non daté) "Energy Technology Fact Sheet : Cogeneration" [*Fiche d'information sur les technologies de l'énergie : cogénération*], www.cogen.org/Downloadables/Publications/Fact_Sheet_CHP.pdf, consulté le 17 avril 2008.

36 Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) page 5 ; Educogen (2001) page 47 ; California Energy Commission (2003), Martin et al (2000) cité dans Worrell et al (2004) page 46 ; Programme des Nations Unies pour l'environnement (non daté) "Energy Technology Fact Sheet : Cogeneration" [*Fiche d'information sur les technologies de l'énergie : cogénération*], www.cogen.org/Downloadables/Publications/Fact_Sheet_CHP.pdf, consulté le 17 avril 2008.

37 Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) pages 23-27.

Figure 1.1 – Production combinée de chaleur et d'électricité.



Source : D'après des estimations de l'American Council for an Energy-Efficient Economy³⁸

de chaleur retraitant les gaz d'échappement de la turbine, qui à leur tour sont ensuite réinjectés dans la pile à combustible et la turbine³⁹. Il existe plusieurs types de piles à combustible, chacune ayant leurs propres points forts ; parmi celles-ci, les piles à combustible à oxyde solide ou à carbonate fondu sont les plus adaptées pour la cogénération, grâce à leur production de hautes températures. Même si les piles à combustible sont encore chères, il est prévu que leur coût baisse grâce à des techniques de fabrication améliorées, à une production de série des piles et, lorsque la pile intègre une membrane d'échange de protons, à une moindre charge de fonctionnement des catalyseurs⁴⁰. De nombreux secteurs utilisent déjà des systèmes de cogénération à pile à combustible, y compris les bâtiments résidentiels, les hôpitaux, les hôtels, les immeubles de bureaux, les brasseries, les raffineries, les centres commerciaux et les expositions de voitures⁴¹. Parmi les autres possibilités de récupération de chaleur additionnelle (généralement à plus petite échelle), on trouve aussi : l'utilisation de refroidisseurs à absorption qui refroidissent des fluides et des gaz chauds en les faisant passer à travers un réservoir de fluide réfrigérant (il s'agit souvent de vapeur d'eau, que l'on fait passer dans un réservoir en dépression, qui absorbe facilement la chaleur) ; ou l'utilisation de déshumidificateurs qui éliminent la chaleur de l'air avant son refroidissement dans des climatiseurs – ces deux possibilités autorisant aussi bien le chauffage et le refroidissement que la production

³⁸ Elliott et Spurr (1999).

³⁹ Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) pages 14-16, 18-19, 27.

⁴⁰ Martin et al (2000) cité dans Worrell et al (2004) page 46.

⁴¹ Lidderdale et al (2006).

d'électricité dans les bâtiments tertiaires, les manufactures, ou de nombreuses autres applications.

Les systèmes de cogénération sont parfaitement adaptés aux sites industriels, leurs besoins en électricité et en chaleur étant souvent permanents et relativement constants dans le temps, ce qui minimise la montée et la redescende en puissance du système. Par conséquent, l'essentiel du potentiel applicable à la cogénération – dont la capacité électrique totale actuelle représente un peu plus de 8 pour cent de la consommation mondiale – se trouve dans les secteurs de l'industrie fortement consommatrice d'énergie comme la production d'acier, d'aluminium, de ciment, de papier vierge ou imprimé, de produits chimiques, la production alimentaire ou le raffinage de pétrole⁴². Le Danemark est leader mondial dans l'utilisation de la cogénération : en 2003, il satisfaisait ainsi 52 pour cent de ses besoins en électricité, tout en alimentant en chaleur, pour l'essentiel, ses réseaux de chauffage urbain. Dans le reste du monde, les États-Unis sont numéro un en termes de capacité totale de cogénération installée, avec 85 GW en 2003, ce qui représente moins de 10 pour cent de la demande totale⁴³. L'essentiel de la croissance à venir se situe dans les systèmes de forte puissance (20 MW ou plus) au sein d'industries qui exploitent déjà la production combinée de chaleur et d'électricité. Cependant, les systèmes de plus faible puissance (4 MW ou moins) représentent un marché très largement inexploité⁴⁴. Parmi les progrès significatifs réalisés ailleurs, l'Allemagne produisait près de 13 pour cent de son électricité grâce à la cogénération en 2005, son gouvernement prévoyant que cette part puisse atteindre 57 pour cent⁴⁵.

Comme pour la plupart des technologies, il est possible d'améliorer l'efficacité énergétique de l'essentiel des applications de la cogénération, en augmentant le rendement de conversion de la partie production d'électricité du système pour se rapprocher de sa limite de rentabilité – d'autant plus que, dans la grande majorité des applications pratiques, ce sont les besoins en électricité plutôt qu'en chaleur qui déterminent l'essentiel de la capacité du système et des contraintes d'exploitation. De plus, faire appel à une chaudière supplémentaire pour compenser une production de chaleur insuffisante est environ deux fois plus efficace qu'utiliser un système supplémentaire de production d'électricité pour compenser une production électrique insuffisante.

Énergies renouvelables

Les entreprises et organisations du monde entier sont en train de réaliser qu'en appliquant des stratégies du genre des trois précédentes, elles peuvent réduire de manière significative la quantité d'électricité qu'elles doivent obtenir

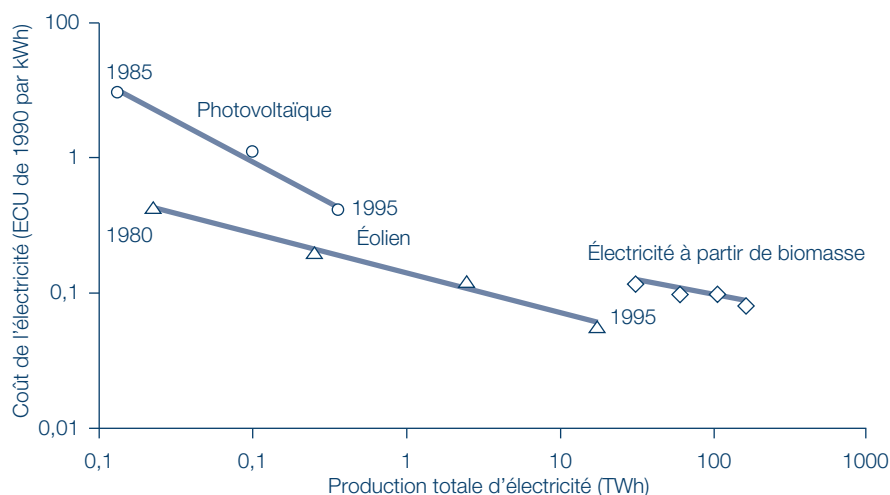
42 Chiu (2009).

43 *ibid.*

44 Onsite SYCOM Energy Corporation (2000) page 34.

45 Chiu (2009).

Figure 1.2 – Courbe d'apprentissage de l'AIE qui montre comment les innovations, les économies d'échelle et l'expérience réduisent progressivement les coûts avec le temps.



Source : AIE (2000)⁴⁶

du réseau électrique ; répondre à ces besoins à l'aide de sources renouvelables peut alors devenir plus abordable. En suivant ce raisonnement, des milliers d'entreprises, d'organisations et de foyers se sont engagés à devenir neutres du point de vue climatique en réduisant leur consommation d'énergie (Stratégies 1 à 3), puis en achetant de l'énergie renouvelable ou en compensant leurs émissions de carbone pour atteindre le statut de neutralité ainsi visé. Joint aux engagements gouvernementaux significatifs à travers le monde, ce mouvement a fait des énergies renouvelables les sources d'énergie à la croissance la plus rapide au monde. Présenter les diverses formes d'énergie renouvelable qui existent, et montrer comment elles pourraient effectivement répondre à la fois à la demande d'électricité de base et de pointe sort du cadre de cet ouvrage – le lecteur pourra se référer au programme *Transformed Energy* de TNEP pour en trouver un résumé⁴⁷.

Les sources d'énergie renouvelables et décentralisées permettant de produire de l'électricité – comme les renouvelables électriques (y compris le solaire, l'éolien, l'énergie de la houle, le marémoteur, la géothermie et l'hydroélectricité) ou la cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité, décrite ci-dessus) – ont dépassé l'énergie nucléaire par la capacité de production mondiale installée dès 2002, et elles représentent des marchés lucratifs en croissance rapide. Une autre raison à l'origine de la croissance des ventes dans le secteur des énergies renouvelables est la réduction des coûts au cours des 30 dernières années. Avec le développement de ce secteur, les économies d'échelle et les

⁴⁶ Agence internationale de l'énergie (AIE) (2000) page 21.

⁴⁷ Smith et al (2007) Conférences 7.2 et 7.3.

retours d'expérience de plus en plus nombreux ont contribué à faire baisser les coûts de fabrication des différentes technologies dont dépendent les énergies renouvelables, comme le montre la figure 1.2.

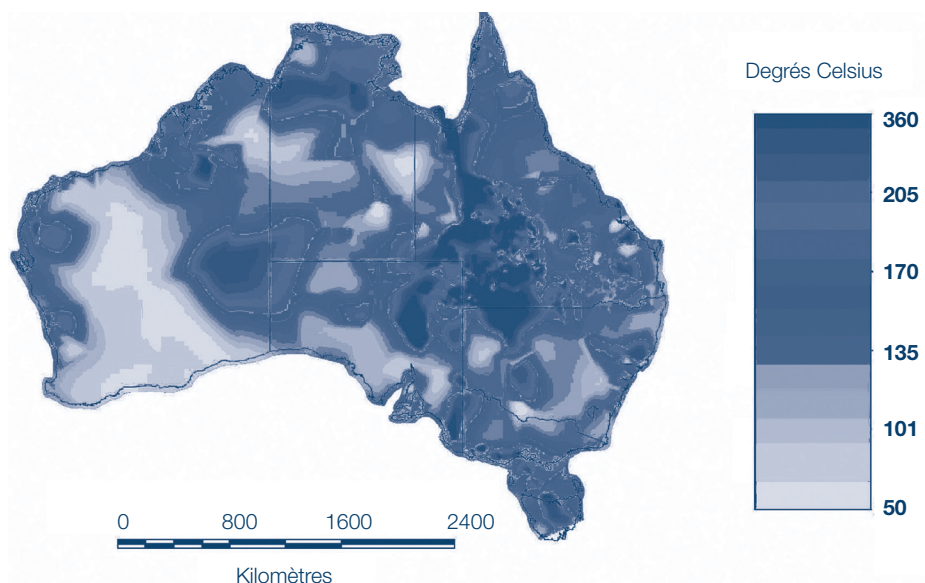
La production locale d'électricité renouvelable représente désormais un quart de la capacité de production électrique installée de la Californie, un tiers de celle de la Suède, la moitié de celle de la Norvège et les trois quarts de celle de l'Islande, et, depuis 2003, le Danemark a tiré 20 pour cent de son électricité de l'énergie éolienne. Il existe toute une série d'études significatives qui suggèrent clairement qu'il n'existe aucun obstacle technologique à ce qu'au moins 80 pour cent de l'énergie électrique produite soit d'origine renouvelable⁴⁸. Il est largement reconnu que l'énergie renouvelable est très efficace lorsqu'il s'agit d'aider le réseau électrique à répondre à la demande électrique de pointe, puisque les sources d'énergie renouvelables comme les moments où la cogénération, l'éolien et le solaire produisent le plus correspondent aux périodes de pointe de la journée. Cependant, beaucoup de gens ont encore de profondes inquiétudes quant à savoir si les énergies renouvelables peuvent satisfaire à la demande d'électricité de base – c'est-à-dire la quantité d'électricité consommée de manière constante à toute heure du jour ou de la nuit, notamment par l'industrie lourde et les services nocturnes fondamentaux comme l'éclairage urbain et les hôpitaux. Des doutes subsistent à cause de la croyance selon laquelle les énergies solaires et éoliennes sont trop intermittentes pour fournir une telle puissance, et qu'elles sont conditionnées au fait que le soleil brille ou que le vent souffle.

En fait, les flux d'énergie renouvelable tirés du vent et du Soleil sont beaucoup moins intermittents que beaucoup le croient ; on peut répartir les turbines et les panneaux sur l'ensemble du pays et les relier à l'aide du réseau électrique pour éviter les vents localement faibles et les conditions nuageuses. En outre, les progrès en matière de technologies de stockage d'énergie permettent aux systèmes photovoltaïques (PV) et solaires thermiques à concentration (CSP) d'alimenter le réseau en électricité de base. Des études montrent qu'en répartissant géographiquement un nombre suffisant de sources d'énergie solaire, éolienne, des marées et de la houle, on arrive à faire disparaître l'intermittence, ce qui permet à ces sources d'énergie renouvelable de fournir efficacement de l'électricité en base. Graham Sinden, de l'Environmental Change Institute, à l'Université d'Oxford, a étudié la contribution potentielle de plusieurs différentes sources d'électricité renouvelables au Royaume-Uni⁴⁹. À l'aide de données couvrant plusieurs années sur les niveaux de vent, d'ensoleillement, des vagues de houle et des marées sur plusieurs sites, Sinden est arrivé à la conclusion que l'essentiel de l'électricité au Royaume-Uni pouvait être produit à partir de sources d'énergie renouvelables, l'éolien déployé sur des sites répartis sur le territoire représentant la principale source. Comme l'indique Sinden :

48 Groscurth et al (1998) ; Kruska et al (2003) ; Lovins et al (2004) ; Mathiesen et al (2008).

49 Sinden (2005).

Figure 1.3 – Ressources géothermiques de l'Australie.



Source : Dr P. N. Chopra, Département des sciences terrestres et marines de l'Université nationale australienne

En combinant la production des différents sites et en combinant les technologies, vous pouvez réduire sensiblement la variabilité de l'électricité fournie par les énergies renouvelables. Et si vous prévoyez la bonne combinaison, vous pouvez même réussir à ce que les technologies renouvelables et intermittentes répondent en temps réel à la demande d'électricité et ses variations. Cela réduit la nécessité de systèmes de secours, et fait des énergies renouvelables une alternative sérieuse aux sources d'énergie conventionnelles⁵⁰.

En outre, de nombreuses formes d'énergie renouvelable ne dépendent pas des variations météorologiques quotidiennes et peuvent donc fournir de l'électricité de manière toute aussi fiable que le charbon ou le nucléaire – on peut citer par exemple l'hydroélectricité, l'énergie marémotrice ou la biomasse⁵¹.

L'énergie géothermique est une autre source d'énergie prometteuse qui, même si elle n'est pas renouvelable, est abondante et peut être exploitée avec un impact minimum sur l'environnement pendant des centaines, si ce n'est des milliers d'années. L'énergie géothermique peut alimenter en électricité de base avec les mêmes profils de charge que le charbon et le nucléaire, et elle est exploitée par de plus en plus de pays. En 2001, l'énergie électrique produite à partir de ressources géothermiques a représenté 75 pour cent de l'électricité totale produite en Islande, 27 pour cent aux Philippines, 12,4 pour cent

50 Tickell (2005).

51 Agence internationale de l'énergie (AIE) (2002).

au Kenya, 11,4 pour cent au Costa Rica, et de 4,3 pour cent au Salvador⁵². Les recherches menées par le docteur P. N. Chopra lorsqu'il travaillait pour l'Université nationale australienne (et pour d'autres organismes de recherche reconnus) montrent que l'Australie est l'un des pays les mieux dotés en réserves géothermiques de type roches chaudes fracturables dans le monde, ce qui permettrait à l'Australie de fournir de l'électricité à hauteur de tous ses besoins durant des milliers d'années. La figure 1.3 montre la température estimée à une profondeur de 5 km à travers l'Australie. La géothermie par fracturation de roches chaudes repose sur des technologies existantes et des processus d'ingénierie comme le forage et la fracturation hydraulique – des techniques mises au point par l'industrie du pétrole et du gaz⁵³.

Substitution des matières premières (lien fort entre consommation de matériaux et d'énergie)

En évaluant le potentiel de la « *Matrice de réduction industrielle* » du GIEC à être utilisé pour structurer les études sectorielles, nous avons constaté que les questions et les pistes relatives à la Stratégie 5 de « substitution des matières premières », abordée ici, et à la Stratégie 7 « d'efficacité des matériaux » pouvaient se chevaucher. Dans le cadre des études sectorielles, nous avons décidé de cibler les éléments concernant la substitution des matières premières principalement sur le recyclage des matériaux, pour montrer les avantages que celui-ci apporte en termes de consommation d'eau et d'énergie, à la fois en évitant de consommer des ressources primaires et en modifiant le processus de production⁵⁴. Par exemple, dans le chapitre 3, nous montrons que l'utilisation de ferraille d'acier comme matière première, dans ce qu'on appelle une production secondaire d'acier, peut conduire à une consommation d'énergie 60 à 70 pour cent plus faible si elle l'est pour un type spécifique de processus sidérurgique⁵⁵, comme montré par WorldSteel avec la figure 1.4.

Utiliser des matières premières recyclées pour produire de nombreux autres métaux et matériaux permet également de faire d'importantes économies d'énergie, dont voici les estimations par matériau : aluminium (95 pour cent)⁵⁶,

52 Dickson et Fanelli (2004).

53 Smith et al (2007) Conférence 7.3.

54 British Metals Recycling Association (BMRA) (non daté) "What is Metals Recycling ?" [*Qu'est-ce que le recyclage des métaux ?*], www.recyclemetals.org/whatis.php, consulté le 23 août 2008 ; Bureau of International Recycling (BIR) (non daté) "About Recycling" [*À propos du recyclage*], www.bir.org/aboutrecycling/index.asp, consulté le 23 août 2008 ; « Position Papers » Eurometrec (non daté), www.eurometrec.org/, consulté le 23 août 2008.

55 De Beer et al (1998).

56 British Metals Recycling Association (BMRA) (non daté) "What is Metals Recycling ?" [*Qu'est-ce que le recyclage des métaux ?*], www.recyclemetals.org/whatis.php, consulté le 23 août 2008 ; Bureau of International Recycling (BIR) (non daté) "About Recycling" [*À propos du recyclage*], www.bir.org/aboutrecycling/index.asp, consulté le 23 août 2008 ; Eurometrec (non daté) « Position Papers », www.eurometrec.org/, consulté 23 août 2008.

cuivre (70⁵⁷-85⁵⁸ pour cent), plomb (60⁵⁹-80⁶⁰ pour cent), zinc (60⁶¹-75⁶² pour cent), magnésium (95 pour cent⁶³), papier (64 pour cent⁶⁴), plastiques (80⁶⁵-88⁶⁶ pour cent) et verre (68 pour cent⁶⁷). La principale raison qui explique ces moindres consommations d'énergie est que l'énergie nécessaire à l'extraction et la transformation des matières premières et à leur transport jusqu'aux installations de production devient inutile, et que seule l'énergie nécessaire à la collecte et au traitement des rebuts et déchets est consommée. Et pour certains de ces matériaux, utiliser des matériaux recyclés permet même au processus de production d'utiliser moins d'énergie. Par exemple, alors que la production d'aluminium à partir d'alumine exige des températures de l'ordre de 900 °C, l'aluminium usagé refond à environ 660 °C⁶⁸ – réduisant ainsi la hausse de température requise d'un peu moins d'un tiers. Lorsque l'on combine ce constat au fait qu'il est facile de séparer les canettes en aluminium du reste des déchets municipaux, cela signifie que, selon l'Institut international de l'aluminium, l'aluminium recyclé constitue désormais 33 pour cent de l'offre mondiale et devrait passer à 40 pour cent en 2025⁶⁹. En théorie, de nombreux matériaux sont recyclables à l'infini, comme par exemple les métaux et le verre. Certains d'entre eux présentent néanmoins des limites, comme par exemple les produits en papier, que l'on ne peut recycler qu'environ 5 fois – mais cela permet tout de même d'améliorer d'un Facteur Cinq la consommation de matières premières. Utiliser des matériaux recyclés à la place de matières premières peut par conséquent conduire à d'importantes économies d'énergie et de matériaux ainsi qu'à de fortes réductions de coûts. Cependant, dans de nombreux pays, les taux de recyclage peuvent largement être améliorés – par exemple, alors que l'Allemagne et la Finlande recyclent 80 à 90 pour cent de leur verre, les États-Unis n'en recyclent même pas 30 pour

57 Eurometrec (non daté) « Position Papers », www.eurometrec.org/, consulté le 23 août 2008.

58 British Metals Recycling Association (BMRA) (non daté) "What is Metals Recycling?" [*Qu'est-ce que le recyclage des métaux ?*], www.recyclemetals.org/whatis.php, consulté le 23 août 2008 ; Bureau of International Recycling (BIR) (non daté) "About Recycling" [*À propos du recyclage*], www.bir.org/aboutrecycling/index.asp, consulté le 23 août 2008.

59 British Metals Recycling Association (BMRA) (non daté) "What is Metals Recycling?" [*Qu'est-ce que le recyclage des métaux ?*], www.recyclemetals.org/whatis.php, consulté le 23 août 2008.

60 Eurometrec (non daté) « Position Papers », www.eurometrec.org/, consulté le 23 août 2008.

61 British Metals Recycling Association (BMRA) (non daté) "What is Metals Recycling?" [*Qu'est-ce que le recyclage des métaux ?*], www.recyclemetals.org/whatis.php, consulté le 23 août 2008.

62 Eurometrec (non daté) « Position Papers », www.eurometrec.org/, consulté le 23 août 2008.

63 Ditze et Scharf (2008) page 7.

64 Bureau of International Recycling (BIR) (non daté) "About Recycling" [*À propos du recyclage*], www.bir.org/aboutrecycling/index.asp, consulté le 23 août 2008.

65 ibid.

66 Recoup (2004) "Recycling Plastic Bottles – The Energy Equation", [*Recycler des bouteilles en plastique – L'équation énergétique*], www.recoup.org/shop/product_documents/33.pdf, consulté le 9 juin 2009.

67 Ohio Department of Natural Resources (non daté) "Recycling in Ohio : Glass Recycling" [*Recycler en Ohio : le recyclage du verre*], www.dnr.state.oh.us/tabid/17878/Default.aspx, consulté le 9 juin 2009.

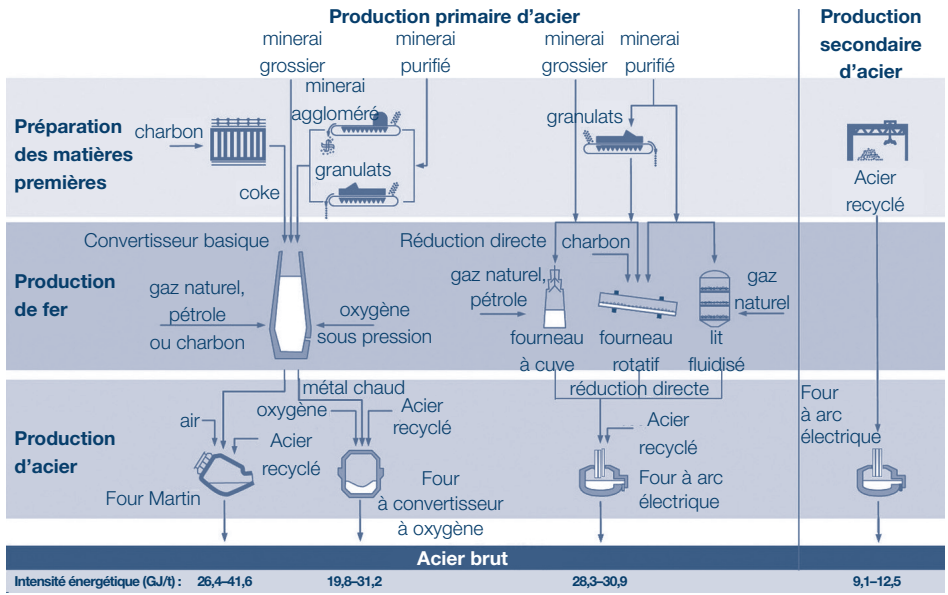
68 British Metals Recycling Association (BMRA) (non daté) "What is Metals Recycling?" [*Qu'est-ce que le recyclage des métaux ?*], www.recyclemetals.org/whatis.php, consulté le 23 août 2008.

69 IAI (2006) ; Martcheck (2006).

cent⁷⁰ ; et tandis que neuf des membres de l'Union européenne ont réussi à recycler 80 pour cent du plastique qu'ils consomment, au moins la moitié des pays de l'Union en récupèrent moins de 30 pour cent⁷¹. Un certain nombre de gouvernements ont désormais pris des mesures pour augmenter ces taux de recyclage, en particulier des appareils électriques, le gouvernement japonais exigeant par exemple que les climatiseurs, les tubes cathodiques, les réfrigérateurs et les machines à laver soient recyclés – ce à quoi il faut ajouter, à partir de décembre 2008, les écrans LCD et plasma et les sèche-linge.

Il existe une solution alternative au fait de séparer tous les petits morceaux d'acier ou de verre du reste des déchets, et de les réutiliser dans des processus de production : on peut aussi utiliser les déchets comme intrants bruts d'un certain nombre de processus, comme par exemple les particules fines de suie, dans l'industrie du ciment (chapitre 3). Dans le cas de la production de ciment Portland, on peut ajouter au mélange tout un ensemble de matériaux cimentaires pour réduire la consommation énergétique globale du processus de production, comme

Figure 1.4 – Intensité énergétique de divers processus de production d'acier : (1) procédé à convertisseur à oxygène (58 pour cent de l'acier mondial⁷²) ; (2) procédé à arc électrique avec réduction directe (7 pour cent) ; (3) procédé à arc électrique seul (27 pour cent).



Source : WorldSteel⁷³

70 PNUE/GRID-Arendal (2004).
71 European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations (2008).
72 World Steel Association (2008) "Fact Sheet : Steel and Energy" [Fiche d'information : acier et énergie], www.worldsteel.org/pictures/programfiles/Fact%20sheet_Energy.pdf, consulté le 20 mars 2009.
73 OCDE (2003a).

les stériles issus des hauts fourneaux, les particules fines émises par des centrales à charbon, ou des argiles naturelles (tous ces matériaux sont désignés sous le vocable « pouzzolanes »)⁷⁴. Cependant, leurs effets sur les propriétés du ciment limitent leur utilisation ; actuellement, ils ne représentent que 7 pour cent du ciment Portland produit⁷⁵. Les ciments alternatifs, comme les géopolymères présentés dans le chapitre 3, non seulement réduisent notablement la consommation d'énergie de la production de ciment⁷⁶, mais de plus incorporent ces additifs dans des quantités plus élevées⁷⁷ – ils aident donc à faire face au problème majeur que pose la production de déchets comme les particules de suie et les stériles⁷⁸.

Utiliser des matières recyclées comme intrants permet également d'économiser l'eau, comme le montre l'étude sectorielle Internet du « Secteur du papier et des pâtes à papier », qui démontre qu'améliorer la production de papier permet d'économiser jusqu'à 50 pour cent d'eau⁷⁹. Ainsi, dans de nombreux cas, utiliser des matériaux recyclés comme matières premières permet d'améliorer tout à la fois la productivité de l'énergie, la productivité des matériaux et la productivité de l'eau tout en réduisant la pollution. Par exemple, recycler le verre permet de réduire la consommation d'énergie de 70 pour cent et la consommation d'eau de 50 pour cent, tout en réduisant également la pollution de l'air induite de 20 pour cent et la pollution de l'eau induite de 50 pour cent⁸⁰.

De surcroît, les possibilités de recyclage pour obtenir des intrants ne se limitent pas qu'aux ressources de base comme le papier, l'acier ou le verre. Elles existent aussi au niveau des composants : c'est la « remise à neuf ». Comme le montre l'étude sectorielle Internet « Secteur de l'information et des communications », il est possible de reconstruire ou de recycler les produits complets, y compris ceux qui sont complexes et composés de nombreuses pièces, pour en faire des produits comme neufs. L'une des sections de cette étude sectorielle en particulier, dans laquelle Su Benn et Dexter Dunphy soulignent les avancées faites par Fuji Xerox, illustre cette possibilité⁸¹ : Fuji Xerox a commencé par recycler ses produits en 1990, puis, environ trois ans plus tard, s'est mis à les refabriquer. Fuji Xerox avait pour objectif de maximiser la remise à neuf et de minimiser le besoin de recyclage – une stratégie qui permet de maintenir une haute valeur ajoutée à des produits en fin de vie. *L'Eco-Manufacturing Centre* de Fuji Xerox Australie, qui a mis en œuvre cette meilleure pratique, est le site qui fait l'essentiel de cette remise à neuf. Deux des éléments-clés parmi les avancées technologiques et les nouvelles valeurs d'entreprise qu'il a développées, sont le lien que le Centre entretient, d'une part, avec ses réseaux

74 Josa et al (2004).

75 GIEC (2007) voir « Industrie », pages 1313-1320.

76 Duxson et al (2007).

77 Duxson (2008).

78 Davidovits (2002).

79 Disponible sur Internet à l'adresse www.factorfiveonline.info.

80 Ohio Government's Division of Recycling and Litter Prevention (non daté) "Recycling in Ohio : Glass Recycling" [*Recycler en Ohio : le recyclage du verre*], www.dnr.state.oh.us/tabid/17878/Default.aspx, consulté le 9 juin 2009.

81 Fuji Xerox Australia (2008) page 27.

d'approvisionnement et de gestion des déchets pour réduire ses émissions et éliminer ses déchets, et d'autre part, avec ses réseaux de clients pour obtenir et restituer des pièces usagées. L'étude de cas en ligne montre comment le Centre arrive désormais à répondre à 80 pour cent des besoins en pièces détachées de Fuji Xerox Australie⁸², ce qui a permis à la société d'économiser 11,3 millions de dollars australiens sur l'achat de pièces de détachées en 2007-2008, et qui lui permet d'éviter l'envoi en décharge de centaines de milliers de pièces chaque année. La société cherche à accroître encore le pourcentage de produits remis à neuf par rapport à son niveau actuel, déjà impressionnant, de 76 pour cent, grâce à une conception permettant le démontage. C'est dans le centre de recyclage intégré de Fuji Xerox en Thaïlande qu'a lieu l'essentiel du recyclage des produits en fin de vie de l'entreprise pour la région Asie-Pacifique. Ensemble, les centres australiens et thaïlandais refabrique ou recyclent 99 pour cent des produits de l'entreprise pour la région Asie-Pacifique⁸³. Fuji Xerox prévoit de faire du Centre australien le centre de référence pour toute la région et de diffuser ces principes dans le reste du monde.

Enfin, l'étude sectorielle Internet « Secteur agroalimentaire et de la restauration » montre que les transformateurs et les détaillants du secteur de l'agroalimentaire, comme les boulangeries, les restaurants et les supermarchés, peuvent également réduire leur consommation d'énergie en s'approvisionnant en ingrédients biologiques à partir de fermes gérées de manière durable, et de préférence locale. Les produits de l'agriculture biologique ont généralement une énergie grise moindre que les ingrédients cultivés de manière traditionnelle, par le simple fait d'éviter le recours aux engrais de synthèse et aux produits phytosanitaires qui sont très gourmands en énergie. En 2002, l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a constaté que, « l'agriculture biologique [était] plus performante que l'agriculture conventionnelle par hectare cultivé, aussi bien du point de vue de la consommation directe d'énergie (carburants et pétrole) que de la consommation d'énergie indirecte (engrais et pesticides de synthèse), grâce à une efficacité énergétique élevée »⁸⁴. Les boulangeries, les restaurants et les chaînes de supermarchés peuvent aussi s'approvisionner localement et ainsi réduire la distance parcourue par la nourriture « *du champ à l'assiette* ».

Substitution des produits

Dans la plupart des cas, les activités et les stratégies qui visent à accroître la productivité des ressources se concentrent sur des processus déjà bien rôdés en essayant de les améliorer à l'aide de technologies plus récentes, de pratiques améliorées et de techniques de gestion et de suivi plus proches de l'état de l'art. Néanmoins, il existe des cas pour lesquels la meilleure façon de réduire la

82 Fuji Xerox Australia (non daté) "Eco Manufacturing : FXA now exports remanufactured parts and components to the Asia Pacific region" [*Éco-fabrication : Fuji-Xerox Australie exporte désormais des pièces réusinées et des composants pour la région Asie-Pacifique*], www.fujixerox.com.au/about/eco_manufacturing.jsp, consulté le 4 avril 2009.

83 Fuji Xerox Australia (2008) page 27.

84 Scialabba et Hattam (éditeurs) (2002).

consommation de ressources d'un produit est de changer complètement sa forme. L'un des meilleurs exemples, que souligne le 4^e Rapport d'évaluation du GIEC, est celui du ciment géopolymère. Comme nous le verrons dans le chapitre 3, les ciments géopolymères à base de silico-aluminates (à la place des silicates de calcium utilisé dans le ciment Portland) fournissent un service identique ou meilleur, sont rentables, et utilisent plus de 80 pour cent d'énergie en moins pour être fabriqués⁸⁵. Ce nouveau produit constitue donc une alternative compétitive peu intense en carbone au produit standard, et suscite de plus en plus d'intérêt – comme le constate la société de géopolymères Zeobond, basée en Australie.

Il est maintenant largement reconnu qu'en règle générale, les quantités d'eau et d'énergie utilisées par les produits au cours de leur durée de vie sont beaucoup plus importantes que les quantités consommées pour fabriquer ces produits – ce qui signifie qu'il faut non seulement améliorer le processus de fabrication des produits, mais aussi réduire les quantités d'eau et d'énergie nécessaires pour faire fonctionner ces produits pendant tout le temps où ils vont être utilisés. Les grands fabricants de la plupart des produits sont maintenant en train de revoir leurs gammes de produits pour essayer de rendre leurs produits radicalement plus économes en ressources. En mai 2005, General Electric a annoncé son programme « Eco-magination » : ce grand programme économique à l'échelle de toute la société était destiné à rendre tous les produits de General Electric plus économes en énergie. General Electric s'attend à ce qu'Eco-magination multiplie par deux son chiffre d'affaires sur le secteur des produits économes en énergie, pour atteindre environ 20 milliards de dollars US en 2010. Pour cela, General Electric a multiplié par deux ses investissements en recherche et développement dans les produits écologiques, qui devraient atteindre 15 milliards de dollars US en 2010 et améliorer l'efficacité énergétique de ses produits de 30 pour cent en 2012. En mai 2006, la société a annoncé un chiffre d'affaires de 10,1 milliards de dollars US pour ses produits et services économes en énergie et plus respectueux de l'environnement, en hausse de 6,2 milliards de dollars en 2004, et des commandes presque doubles, à hauteur de 17 milliards de dollars.

Le Japon a été l'un des premiers pays à aider ses entreprises nationales à gagner des parts sur le marché mondial en introduisant des normes d'efficacité énergétique plus strictes. Les lois japonaises sur les économies d'énergie, adoptées en 1979, fixent des normes d'efficacité énergétique pour les réfrigérateurs, les climatiseurs et les voitures, et poussent les entreprises japonaises à améliorer leurs produits pour renforcer leur position internationale sur leurs marchés respectifs⁸⁶. Ce constat montre comment un leadership des gouvernements sur la question de l'efficacité énergétique dans la fabrication des produits peut influencer la direction prise par les fabricants partout dans le monde, et il indique que ce sont les pays le plus à la pointe des réglementations intelligentes sur l'efficacité énergétique des produits et des appareils électriques qui permettront à leurs entreprises

85 Net Balance Foundation (2007).

86 Hargroves et Smith (2005).

de se positionner au mieux sur les marchés mondiaux et à croissance rapide. Ainsi, l'une des premières décisions du président Obama a été de durcir les normes de consommation de carburant pour tous les véhicules aux États-Unis en 2016. Plus récemment, on a même vu des pays légiférer pour planifier l'élimination progressive des produits énergétiquement inefficaces comme les ampoules à incandescence⁸⁷, en particulier l'Australie, l'Union européenne, la Californie et le New Jersey aux États-Unis, qui ont tous adopté les lois pour éliminer l'éclairage inefficace⁸⁸.

Améliorer l'efficacité des matériaux (lien fort entre consommation d'eau et d'énergie)

Comme nous l'avons vu précédemment, les questions et les pistes relatives à la Stratégie 5 de « substitution des matières premières », abordée ici, et à la Stratégie 7 « d'efficacité des matériaux » peuvent se chevaucher. Ainsi, dans la partie « Efficacité des matériaux », nous nous sommes principalement concentrés sur les pistes qui permettaient d'améliorer de manière significative l'efficacité et la productivité de la consommation d'eau. Trois grandes raisons motivaient notre exposé :

1. Être en cohérence avec *Facteur Quatre* qui, dans sa section sur l'efficacité des matériaux, montrait comment il était possible d'économiser l'eau.
2. Démontrer qu'en mettant l'accent sur l'efficacité de l'eau, on peut à la fois réduire les prélèvements sur des réserves d'eau qui sont en baisse constante, et permettre d'importantes réductions des besoins en énergie. Par exemple, en réduisant la quantité d'eau qui doit être chauffée à la maison ou au travail, on réduit également la quantité d'eau que les services de gestion de l'eau doivent stocker, traiter et distribuer à leurs clients, ce qui permet donc de réduire la consommation d'énergie, comme l'a souligné le rapport du GIEC de 2008 intitulé *Changement climatique et eau*⁸⁹.
3. Démontrer l'utilité d'insister sur le lien fort entre productivité de l'énergie et productivité de l'eau, en espérant que cela incitera à intégrer ces nouvelles solutions originales dans le prochain rapport du Groupe de travail du GIEC sur l'Atténuation des conséquences sur changement climatique, en 2014.

La plupart des études sectorielles montrent des exemples d'un lien fort entre consommation d'eau et d'énergie, et apportent des éléments solides qui justifient la poursuite des recherches dans ce nouveau secteur d'innovation. Par exemple :

- *Bâtiments résidentiels* : le chapitre 2 montre que réduire la consommation d'eau chaude dans les logements réduit non seulement la quantité d'énergie utilisée pour obtenir de l'eau chaude, mais aussi la quantité d'énergie consommée par

87 Department of Environment and Water Resources (2007), "World first ! Australia slashes greenhouse gases from inefficient lighting" [*Première mondiale ! L'Australie raye ses gaz à effet de serre provenant de l'éclairage inefficace*], Communiqué de presse du ministère de l'environnement et des ressources en eau, Australie.

88 *The Associated Press* (2007).

89 Bates et al (2008).

les services de gestion de d'eau pour fournir de l'eau aux logements. Chauffer de l'eau par le traditionnel système du ballon d'eau chaude électrique est à l'origine d'une part importante de la consommation d'énergie dans les logements à travers le monde – 9 pour cent dans l'Europe des 15 en 2004⁹⁰, 11 pour cent aux États-Unis en 2005⁹¹ et 27 pour cent en Chine en 2000⁹². On voit ici que puisque fournir de l'eau chaude consomme beaucoup d'énergie, il y a un lien fort entre économies d'eau et économies d'énergie dans le secteur résidentiel⁹³.

- *Bâtiments tertiaires* : Le chapitre 2 montre que de nombreux bâtiments publics et d'entreprises, en particulier les supermarchés et les centres informatiques, exigent de gros systèmes de refroidissement très gourmands en eau. La plupart de ces systèmes reposent sur l'utilisation de tours de refroidissement qui éliminent la chaleur du bâtiment, essentiellement par évaporation d'eau. On estime à plus d'un million le nombre de tours de refroidissement en activité dans le monde, situées sur les toits de bâtiments tertiaires⁹⁴, et pouvant représenter jusqu'à 40 pour cent de la consommation d'eau de ces bâtiments. Par conséquent, les mesures qui visent à réduire la quantité d'énergie consommée pour climatiser un bâtiment (en particulier toutes celles présentées par les études sectorielles) permettent également de réduire de manière directe la consommation d'eau. En outre, comme le montre le chapitre 2, il existe de nouveaux systèmes de refroidissement à circuit hybride air/eau sans tour de refroidissement. Ces systèmes hybrides consomment de l'ordre de 80 pour cent d'eau en moins, tout en étant presque aussi économes en énergie que les systèmes refroidis par eau et équipés de tours de refroidissement⁹⁵.
- *Industrie* : le chapitre 3 montre que si l'on reconsidère tout un ensemble de procédés industriels actuels (notamment la production d'acier, de ciment et de papier) et que l'on améliore la productivité de l'énergie qu'ils consomment, on peut également réussir à faire baisser leur consommation d'eau. Le chapitre 3 présente des études de Liedtke et Merton⁹⁶ qui montrent que « les fours à arc électrique des aciéries consomment 70 pour cent d'énergie en moins, et huit fois moins d'eau que les hauts-fourneaux traditionnels à convertisseur à oxygène⁹⁷. » En outre, il montre que passer d'un processus de production de ciment Portland « humide » à un processus « sec », non seulement améliore la productivité de l'énergie, mais réduit aussi la quantité d'eau effectivement consommée. Enfin, l'étude sectorielle Internet « Secteur du papier et des pâtes à papier » montre comment ce secteur peut à la fois économiser de l'énergie et réduire sa consommation d'eau grâce au recyclage

90 Agence internationale de l'énergie (AIE) (2003) ; Waide et al (2004) cité dans Bertoldi et Atanasiu (2007).

91 EIA (2006) cité dans GIEC (2007).

92 Zhou (2007) cité dans GIEC (2007).

93 Kenway et al (2008).

94 Harfst (2008).

95 Australian Institute of Refrigeration, Air-Conditioning and Heating (AIRAH) (2003).

96 Liedtke et Merten (1994).

97 ibid.

du papier. Par exemple, le recyclage du papier journal permet de « consommer environ 20 % d'eau en moins⁹⁸ » selon Planet Ark, tout en exigeant moins d'énergie que le traitement de la pâte à papier vierge.

- *Agriculture* : Dans le secteur agricole, qui consomme la majorité de l'eau utilisée par la société, et dont les pratiques d'irrigation peuvent être énergivores, il existe un lien fort entre consommation d'eau et d'énergie. C'est pourquoi le chapitre 4 commence par décrire un certain nombre de possibilités pour améliorer directement la productivité de l'énergie disponible dans les fermes ; puis l'essentiel de l'étude se concentre sur les manières de réduire la consommation d'eau. L'étude met en garde sur le fait que même si l'on fait évoluer le système d'irrigation pour réduire significativement la consommation d'eau (en ayant recours, par exemple, à un système d'irrigation de type goutte à goutte), passer d'une irrigation gravitaire à une micro-irrigation ou une irrigation souterraine implique de consommer de l'énergie. Par conséquent, il est important d'étudier de manière globale les moyens d'améliorer la productivité de l'eau dans l'agriculture grâce à des techniques complémentaires, comme : une sélection appropriée des espèces cultivées et des choix de bétail qui soient adaptés aux conditions climatiques locales et géologiques ; l'optimisation des effets de l'irrigation grâce à des calendriers et des méthodes modernes d'irrigation ; la récupération des eaux de pluie ; le retraitement et l'exploitation des eaux pluviales et usées urbaines pour l'agriculture périurbaine ; l'utilisation de sources d'énergie renouvelables pour alimenter les pompes d'irrigation en énergie.
- *Industrie laitière* : Prolongeant le chapitre 4 qui traite de l'agriculture, et pour démontrer la pertinence du Facteur Cinq pour toute une série d'opérations typiques de ce secteur, l'étude sectorielle Internet « Secteur agroalimentaire et de la restauration » présente un voyage « du champ à l'assiette » qui commencent par les fermes laitières. Les fermes laitières sont de grosses consommatrices d'eau⁹⁹. Dans l'étude sectorielle Internet, le lecteur trouvera une étude de cas qui présente un certain nombre d'approches originales, comme la possibilité pour la ferme laitière de déshydrater le lait en son sein : elle produit ainsi des produits laitiers solides à destination du marché et peut conserver l'eau pour sa propre consommation. Cette piste est d'autant plus viable que, d'une part, la proportion d'eau dans le lait des vaches peut aller jusqu'à 95 pour cent d'eau, et que, d'autre part, l'industrie de transformation du lait utilise principalement des produits laitiers solides – en Australie, seuls 20 pour cent du lait produit par les fermes laitières se retrouvent sur les rayons des supermarchés sous forme de lait¹⁰⁰. Cela permet aussi aux fermes de réduire leur consommation d'énergie, en réduisant considérablement le volume de lait qu'elles sont légalement obligées de stocker à 4 °C jusqu'à ce qu'un transformateur de produits laitiers le récupère, et cela permet de réduire la quantité d'énergie nécessaire à son transport,

98 Planet Ark (non daté) "Drought Buster Recycling Tips" [Conseils de recyclage anti-sécheresse], <http://recyclingweek.planetark.org/recycling-info/tips.cfm>, consulté le 5 juin 2009.

99 Australian Dairy Farmers (2004).

100 Dairy Australia (2007).

Index

A

- abondance 33, 57, 207, 386, 397, 438-441, 448
- abondance à faible impact 439
- Accord 21, bâtiment de bureaux, Chine 164
- activité physique 291
- aérodynamisme 276-277, 284-285, 287, 299, 301-302, 304-305, 316, 325-326, 335
- Afrique 247
- Agarwal, Anil 372-373
- Agence américaine de protection de l'environnement 171, 201, 226, 240, 307, 319, 348, 389
- agrocarburants 69, 77, 145-146, 215, 237, 240-242, 268, 282-283, 310, 335-336
- alignement des essieux 304
- Allemagne
 - agriculture 250
 - bâtiments résidentiels 99, 115-119, 124
 - biogaz 240
 - efficacité énergétique 406
 - émissions de gaz à effet de serre 373, 377
 - empreinte écologique 39
 - énergies renouvelables 82
 - fiscalité 376-379, 408-409, 412
 - mesures écologiques 41-42, 52-53
 - pollution 37
 - prix d'achat garantis 379, 381-383
 - prix des carburants 377
 - productivité du travail 51, 413-414
 - qualité de vie 433, 449
 - recyclage 87, 355-356
 - réglementation 348, 354, 421
 - secteur de l'acier 195-196
 - transports 318, 323, 328
- aluminium 53, 66, 82, 86, 97, 119, 145, 206, 217, 275, 328, 339
- Amsterdam 296, 335
- appareils électriques 48, 75, 88, 91, 98, 110-112, 117, 125, 128, 144, 163, 168, 388-389, 434
- approche système-complet
 - agriculture 236, 249, 257
 - bâtiments 110, 120, 171
 - eau 194
 - industrie cimentière 224
 - industrie de l'acier 203
 - processus 156
 - productivité des ressources 35, 59, 68-70
 - transports 272-274, 316, 330, 333
- arc électrique, procédé 88, 93, 100, 196-205, 207-208, 210
- Arçelik 135, 137
- assèchement partiel des zones racinaires 260
- audit 173, 359-361, 363
- Aurora Estate (Australie) 140
- Australie
 - appareils électriques 134, 138
 - bâtiment 60L 166-168, 190
 - bâtiments 149, 161-163, 167-169, 173
 - ciment géopolymère 220-224
 - consommation d'eau 380
 - consommation d'eau résidentielle 132, 139-140
 - emplois verts 53
 - empreinte écologique 39
 - énergie géothermique 85

intensité en énergie 321
quotas d'émissions 96
réglementation 351
secteur de l'électricité 52
secteur des transports 291-292
systèmes de climatisation 192-193
vidéoconférence 338
ville en transition 448
autonomie individuelle 445-446
autopartage 297
Autriche 115-118
avoine 254

B

bail écologique 168
ballons d'eau chaude 93, 129, 131
Bangladesh 143, 250, 406
Barefoot Solar Engineering 143
Barton, siège du groupe, États-Unis 173
bâtiments
à énergie positive 124, 151
coefficient R 119, 121, 129, 131
coefficient U 117, 350
fenêtres 63, 72, 114, 116-119, 121-122, 153, 162, 165, 167-168, 170, 172, 175-177, 184, 350
maison passive 113-120, 122, 124, 350
batteries 142, 275, 277-282, 286, 299, 313, 327, 330
à décharge profonde 277
acide-plomb 277-278
auxiliaires 282
lithium-ion 277, 286, 288
nickel-hydrure métallique 277-278, 283
recharge sur secteur 277
Beckett, Margaret 111
Beddington Zero Energy Development 112
BedZED Voir Beddington Zero Energy Development
Belgique 117-118, 172, 369
benchmarking 68
bâtiments 113-115, 157-171
industrie de l'acier 201-203
industrie du ciment 220-224
investissements 396
transports 283-288, 316-319
Bengladesh 252
béton 118, 121, 165, 167, 209-210, 213-223, 232
béton Voir aussi industrie cimentière 118
Biden, Joe 339-340
bien-être 441-442
Binswanger, Hans-Christoph 408
biocapacité 40
biocarburants Voir agrocarburants
biocharbon 237
biodiesel 241-242, 310
biodiversité
augmenter 257
pertes 38-39, 418, 441
protéger 39, 346, 436
biogaz 237
biomasse 77, 80, 85, 103, 124, 144-145, 200, 229, 236-237, 239, 243, 245, 252-253, 263, 310, 381-382
blé 102, 243, 247, 253-254
BlueScope Steel 210
Boeing X-48B 333
Bogota 292
BOMA Voir Building Owners and Managers Association
bouilloires 127
boulangeries 78, 90, 103-104, 234
Brésil 230
Brown, Lester 35, 133, 145, 183, 247, 338
Browning, Bill 99, 154
Building Owners and Managers Association 151
business as usual 34
BYD 278, 286

C

cabotage 321-322
Californie 52, 84, 92, 109, 133, 149, 153, 155, 165-166, 172, 174, 208, 248, 251, 259, 263, 272, 318, 333, 348, 351, 353, 367, 434
Canada 37, 42, 157, 160, 173, 207, 250, 272, 353, 366, 369, 376-377, 409
carbone
capture et séquestration 214-215, 396
compensation 146, 395
empreinte 38-41, 336, 353, 433
neutralité en 83, 99, 170-171
prix 201, 209, 401, 421-422
puits 43, 237, 239, 245-246, 255
CCI Voir Clinton Climate Initiative
CCV Voir chauffage, climatisation et ventilation
Cemex 213
cendres volantes 215-218, 220-222, 224, 229, 231

- chaînes d'approvisionnement 38, 45, 105, 221, 360
 - changement climatique 34, 38, 52, 57-58, 92, 98, 101, 110-111, 198, 233-234, 249, 255, 263, 385, 420
 - chauffage, climatisation et ventilation 69, 125, 155, 159, 170-173, 175, 177-180, 351
 - chauffage, climatisation et ventilation Voir aussi climatisation 69
 - Chine
 - bâtiments 152, 171, 174, 181
 - efficacité énergétique 406
 - empreinte écologique 39
 - expansion économique 353
 - industrie du ciment 212, 230
 - réglementation 351
 - secteur de l'acier 197
 - chlorures, attaque par 219
 - ciment
 - géopolymère 91, 214-224, 229-230
 - phosphate de magnésium 215-216
 - Portland 65, 68, 88-89, 91, 93, 214-224, 226, 229-232, 400
 - silicate d'alumine 216-217, 219
 - silicate d'alumine Voir ciment
 - géopolymère 215
 - silicate de calcium 91, 214, 216-217, 222
 - silicate de sodium 217
 - sulfo-alumineux 215
 - Zeobond 221
 - Climate Neutral Network 170
 - climatisation 95, 98, 104, 111-114, 120-123, 128, 147, 149, 153, 160, 162-165, 168-169, 172-173, 175-176, 181, 183-185, 192-193, 235, 309
 - climatisation Voir aussi chauffage, climatisation et ventilation 309
 - clinker 214, 225-231
 - Clinton Climate Initiative 124, 151
 - CO₂ Voir dioxyde de carbone
 - Coase, Ronald 367-368
 - cogénération Voir énergie > cogénération
 - communisme 36, 425-428
 - compresseur 134-137, 179, 204, 309
 - comptabilité écologique 40
 - conduits de lumière 65, 165, 168, 184-185
 - conformité 361, 365
 - Conseil mondial des entreprises pour le développement durable 150, 300, 319-320, 360
 - Consensus de Washington 431
 - Contraction et convergence 372, 374
 - convertisseur à oxygène, procédé 88, 93, 197-200, 202-204, 207-208, 210
 - coulage à la forme quasi définitive 100, 197, 201-202
 - Council House II (Australie) 161-163
 - courbe environnementale de Kuznets Voir Kuznets, courbe environnementale
 - coûts
 - acier 203, 209
 - agriculture 238-239, 256
 - bâtiments 119, 140, 152, 155-156, 177, 188
 - carbone Voir carbone prix 209
 - ciment 213, 220-221
 - consommation d'eau 380
 - cuisinières solaires 145
 - éclairage LED solaire 142
 - embouteillages 106, 288, 290, 293-294
 - énergies renouvelables 83, 145, 244, 297
 - lampes fluo-compactes 133
 - mesures écologiques 260
 - micro-irrigation 248, 257
 - piles à combustible 81
 - production de biogaz 146
 - recyclage 209
 - recyclage des matériaux 87, 209
 - réfrigérateurs 136
 - transports 291
 - transports aériens 338
 - travail 155, 408, 412, 414
 - véhicules hybrides 272, 314, 319
 - CSC Voir carbone capture et séquestration
 - Cuba 353, 443, 448
 - cuivre 39, 87, 391, 404
- ## D
- Daly, Herman 433, 442
 - Danemark
 - bâtiments résidentiels 118
 - émissions de gaz à effet de serre 379
 - énergies renouvelables 82, 84
 - fiscalité 376, 379
 - prix d'achat garantis 379, 382-383
 - réglementation 421
 - zones d'activité écologique 357
 - décharges 53, 77, 244, 348, 356, 369
 - Deutsche Bahn 323
 - Deutsche Telekom 337
 - Dewulf, Maurice 143
 - digestion anaérobie 237-238, 240-241

dioxyde de carbone
émissions 38, 41-42
dioxyde de carbone Voir gaz à effet de serre
DJSI Voir Dow Jones Sustainability Index
Dow Jones Sustainability Index 214
du champ à l'assiette 90, 94-95, 103, 234
DuPont 421
Duxson, Peter 221, 229

E

eaux usées 37, 95, 102, 139, 163-165, 191, 194, 240-241, 248-249, 257, 262-263, 355, 364, 376, 380, 409
 eaux grises 137, 139, 163, 165, 168, 173, 193, 257
 eaux noires 139, 163
éclairage d'ambiance et éclairage direct 132, 182, 186
Eco-magination 91
écotaxes 367-368, 376, 383, 401, 408-409, 412-413
écotaxes Voir marchés écotaxes 416
écran
 LCD 88, 96, 126, 188
 plasma 88, 96, 126, 353, 400, 440
E-Crete™ 221-222
Égypte 406
Ehrlich, Paul 438
électrolyse d'oxydes fondus 206
élevage 102, 234, 236, 240-241, 243, 248, 254-255, 257, 372
embouteillages 268, 290, 292, 294, 298, 322, 324, 340
empreinte écologique 39, 41, 60, 168, 233, 440-441, 443-444
énergie
 cogénération 79-84, 105, 200, 207, 230
 géothermique 83, 85, 243, 281, 381
 géothermique Voir roches chaudes
 fracturables
 houle 83
 hydroélectrique 83, 85, 381-382
 industrie du ciment 213
 marémotrice 83, 85, 208, 281
 neutralité en 149
 récupération Voir récupération énergie 70
 taxation 416, 418
Energy Star 154, 171, 226, 354
Engineers Australia 65, 149
engrais 48, 90, 97, 145, 235-237, 239, 241-242, 244-245, 249, 254, 256-257, 356

engrais 239
EPA Voir Agence américaine de protection de l'environnement
Espagne 256, 379, 382, 421
États-Unis
 bâtiments 150-151, 173
 efficacité énergétique 406, 409
 émissions de CO₂ 213
 empreinte écologique 39, 41
 intensité en énergie 321
 mesures écologiques 324
 obésité 449
 productivité du travail 51, 413-414
 réglementation 351
 secteur du bâtiment 111, 148, 171, 181
éthanol 241-242, 288, 310
éthanol cellulosique 242, 282-283, 310
Europe Voir Union européenne
évaporation 93, 123, 140, 162, 179, 181, 192-193, 255
évapotranspiration 260
exploitation intensive des pâturages en rotation 257

F

Facteur Quatre
 agriculture 102, 233, 248
 approche système-complet 71, 399
 bâtir sur 61, 64
 efficacité de l'eau 391
 efficacité des matériaux 92
 efficacité énergétique 74, 126
 en faire une réalité 345
 industrie de l'acier 197, 210
 industrie du ciment 214
 industrie lourde 100-101
 progrès 69
 publication 58-59, 63
 réfrigération 135-136
 secteur du bâtiment 98, 109, 118, 146, 149
 transports 283, 297, 327-328
 vidéoconférence 336
Feist, Wolfgang 99, 112-115, 119, 122
fenêtres remplies de gaz 176
fenêtres Voir bâtiments fenêtres
Fiberforge® 283-284
fibre optique 391
FINEX 205
Finlande 87, 118, 377

- fiscalité
 - neutralité 378, 417
- Fischer-Tropsch, procédé 405
- flex-fuel 310
- forme à faible traînée 275-276, 339
- four à double sole jumelée 207
- France
 - agriculture 250
 - consommation d'eau 380
 - intensité en énergie 321
 - mesures écologiques 41-42, 324, 351
 - obésité 449
 - qualité de vie 433
 - recyclage 355
 - réglementation 348, 380
 - secteur de l'acier 196
 - secteurs du bâtiment 193
 - transports hybrides 313
- Fribourg (Allemagne) 124-125, 296
- Friedman, Thomas 49, 375, 379, 408, 422
- Fuji Xerox 89
- G**
- G20, sommet (Londres, 2009) 44, 435
- gaz à effet de serre
 - autres que le CO₂ 73, 96-98, 369
 - écrans plasma 96
 - énergies renouvelables 106
 - Mécanisme de Développement Propre 369, 371-372
 - objectif zéro carbone 111, 151, 157, 206
 - productivité des ressources 206
 - quotas d'émissions 44, 146, 201, 369-375, 383, 401
 - secteur agricole 236, 238
 - secteur de l'électricité 170
 - secteur des transports 299, 318, 322, 330
 - secteur du bâtiment 157, 193
 - secteur du ciment 91, 212, 215, 217, 220, 223, 229, 231
 - secteur du papier 100
 - sur-effet de serre 371
 - système communautaire d'échange de quotas d'émissions 369-372
 - système international d'échange de droits d'émissions 371
 - taxation 201, 289, 293, 375, 377, 379, 406
 - vidéoconférence 337-338
- gaz à effet de serre Voir dioxyde de carbone
- GenSet, motrices électriques 326
- géo-ingénierie 370
- géopolymère Voir ciment géopolymère
- gestion thermique intelligente 310
- Geyer, Roland 208
- gicleurs basse pression 256
- GIEC Voir Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
- Global Footprint Network 39-41, 443
- Global Reporting Initiative 152
- Glukhovsky, Victor 219
- Gorbatchev, Mikhaïl 426, 431
- gouvernance mondiale 435-436
- GPS 303, 314, 327
- Grameen Shakti, Bangladesh 143, 145-146
- Green Diesel Hybrid™ 314
- Green Star 149, 173
- Green Star Voir LEED
- GRI Voir Global Reporting Initiative
- Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
 - effet de serre 35, 369
 - efficacité de l'éclairage 184
 - efficacité de l'énergie 336
 - Matrice de réduction industrielle 72, 86, 237
 - secteur du bâtiment 110
 - substitution énergétique 76
 - transports 319, 332-333, 338
- groupe électrique auxiliaire 307, 309-310, 316
- H**
- Hawken, Paul 46, 360
- Heinberg, Richard 405, 444, 447
- Herring, Horace 389
- hexafluorure de soufre 96-97
- HIsmelt, procédé 203
- histoire culturelle 446
- Holcim 213
- Holdren, John 438
- Holliday, Chad 421
- Holmgren, David 448
- Holy Family Hospital, Delhi 169
- HSBC 41-42
- Hypercar Revolution 273, 283-284, 400
- I**
- IBED Voir Indice du Bien-être Économique Durable
- IDH Voir Indice de Développement Humain

IET Voir gaz à effet de serre système
 international d'échange de droits
 d'émissions
 Immelt, Jeffrey 379, 382-383, 421-422
 Inde
 bâtiments 153
 cogénération 230
 production de ciment 228, 230
 Indice de Développement Humain 442-443
 indice de performance énergétique 153, 226
 indice des prix à la consommation 378, 429
 Indice du Bien-être Économique Durable 442
 indium 404
 industrie cimentière 100, 211, 213, 228, 230-232, 400
 industrie laitière 78, 94, 103, 219, 234-235, 238, 240
 inflation 107, 346, 378, 429-430
 interdiction
 ampoules à incandescence 353
 écran plasma 353
 exportations de charbon 393
 IPAT, formule 438-441
 Irlande 118, 433
 ville en transition 448
 irrigation
 avancée 248, 260
 gravitaire 68, 94, 234
 micro-irrigation 64, 68, 94, 102, 234, 248, 255-258, 260-261
 ISEW Voir Indice du Bien-être Économique Durable
 ISO 14001 361
 isolation
 bâtiments agricoles 236
 bâtiments résidentiels 114, 116-122, 125
 bâtiments tertiaires 160, 164-165, 172, 174, 179
 production d'acier 205
 production de ciment 225
 réfrigérateurs 134-136
 Israël 256, 263

J

Jackson, Wes 233
 Japon 449
 cogénération 230
 efficacité énergétique 406
 empreinte écologique 39

intensité en énergie 321
 production de ciment 230
 productivité du travail 51, 413-414
 réglementation 271, 351
 secteur de l'acier 197

Jevons, William Stanley 392-394

Johnson, Boris 294

K

Kavanagh, Larry 205-206
 keynésianisme 424, 428-430
 Kinsale (Irlande) 448
 Klingenberg, Katrin 119
 Kondratiev Vert 49-50, 54
 Kracke, Rolk 327
 Kuznets, courbe environnementale 37-38, 350

L

Laitner, John « Skip » 388, 390
 lampes fluo-compactes 132-133, 141, 171, 353-354
 Leadership in Energy and Environmental Design Voir LEED
 LEED 149, 154-155
 or 164, 166
 platine 113, 161, 164-166, 173
 légionellose 130, 193
 Lewis, Nate 419
 Li-ion Voir batteries lithium-ion
 liens d'affection 444-446
 Livingstone, Ken 293
 Londres 293, 295, 335
 long terme
 changement climatique 57, 109
 cycles économiques 45
 cycles économiques Voir Kondratiev Vert
 déchets 244
 démographie 386
 direction 36, 118, 360, 402, 421, 424
 équilibre 425, 435
 garantie 365
 indexation des prix 383
 marchés 405
 politiques 64, 323
 réforme fiscale écologique 401-402, 407, 412, 418-419
 Loremo 287
 Lovins, Amory 46, 58, 60-61, 69-71, 74-76, 125, 270-271, 345, 351, 360, 389-390, 400
 Lovins, Hunter 46, 58, 60-61, 345, 360
 lubrifiant 307-308

M

maïs 102, 250, 252-253, 282, 310
maison passive Voir bâtiments maison passive
Malaisie 211, 262
marche à pied 288-291, 296, 298
marchés
 écotaxes 418, 420, 422
 effondrement du communisme 425-427
 intervention publique 423-425
 triomphalisme 431-434
Marshall, George C. 428
matériaux cimentaires supplémentaires 222, 231
McDonough, Bill 60, 70
McNeill, Jim 61
MCS Voir matériaux cimentaires supplémentaires
méthane 43, 77, 96-97, 237, 239, 310
Metrotower, complexe de bureaux, Colombie-Britannique, Canada 173
micro-crédit 142-143, 145
Mills, Evan 142, 165
Mittal Steel South 210
Monbiot, George 112, 128, 391
monde libre, idéal 428
MSS Voir Mittal Steel South
Muller 3C Cooler 192-193
multimodalité 323

N

Narain, Sunita 372-373
National Museum, Delhi 169
National Renewable Energy Laboratories 99, 150-151, 166
Natural Capitalism 46, 60-61, 70, 72, 176, 179, 360
négawatts 351
Newman, Peter 289-290, 292
NiMH Voir batteries nickel-hydrure métallique
Norvège 84, 293, 377, 396
Nouvelle-Zélande 335
NO_x Voir oxydes d'azote
NREL Laboratories Voir National Renewable Energy Laboratories
Nucor Corporation 201-202

O

Obama, Barack 53, 59, 92, 339-340, 356, 375, 408

Odyne 314
OIT Voir Organisation internationale du travail
Olsen, Molly 61
OMC Voir Organisation mondiale du commerce
OMS Voir Organisation mondiale de la santé
ONG Voir organisations non gouvernementales
ordinateur 39, 47, 49, 63, 125-126, 187
ordinateur portable 126, 188
Organisation internationale du travail 50, 233, 432, 435
Organisation mondiale de la santé 144
Organisation mondiale du commerce 423, 431, 435
organisations issues de la société civile 436
organisations non gouvernementales 436
orge 253-254
ouvriers 410-411
oxycombustion 196, 201, 204
oxydes d'azote 205, 293, 308, 318, 348, 369, 409, 412
ozone stratosphérique 369

P

Palomo, Angel 217
particules fines 88-89, 144
Passivhaus Voir maison passive
Pays-Bas 52, 118, 146, 153, 243, 348, 355, 369, 376-377, 379-380, 430
péage urbain 292-295
péage urbain Voir écotaxes
Pears, Alan 68, 70, 103, 121, 123, 129-132, 137, 183, 395
phosphate 257, 404
PIB
 bonheur 441-444, 450
 changement climatique 58
 écotaxes 376
 empreinte carbone 39
 intensité en énergie 152, 321, 377, 387-388, 416
 intensité en ressources 360
 mesures de relance 44
 part de l'agriculture 101
 part des transports 320
pic pétrolier 107, 404-405
plastiques 48-49, 77, 87, 206, 229, 275, 284, 328
pluies acides 411

pneumatiques 77, 206, 229, 276, 303-304, 306, 315
 faible résistance au roulement 275-276, 285, 316
 faible résistance au roulement
 Voir résistance au roulement
 roulage à plat 285
 PNUÉ Voir Programme des Nations Unies pour l'environnement
 Pologne 196, 250, 369, 380
 pompage des eaux de surface 243
 pompes à chaleur 117, 120, 129, 170, 172
 population 49-50, 240, 252, 386, 394, 401, 438-439, 443
 postulat de Khazzoom-Brookes 358, 386-392
 pouzzolanes 89, 215, 217, 220, 224, 231
 PricewaterhouseCoopers 337
 prix d'achat garantis 53, 365, 381-382, 408
 prix raisonnable 258, 400
 production combinée de chaleur et d'électricité Voir cogénération
 produit intérieur brut Voir PIB
 Programme des Nations Unies pour l'environnement 35, 44, 150, 435-436, 439
 Protocole de Kyoto 96-97, 356, 358, 369, 371, 374
 Protocole de Montréal 369, 371
 protoxyde d'azote 96-97, 369
 protoxyde d'azote Voir gaz à effet de serre
 autres que le CO₂
 puits de lumière 160, 168
 Pusat Tenaga, Selangor, Malaisie 165
 PwC Voir PricewaterhouseCoopers 337

Q

qualité de vie 40, 142-143, 438, 440-442, 448-449
 quantité suffisante 36, 64, 67, 437-449
 quotas d'émissions Voir gaz à effet de serre
 quotas d'émissions

R

rapport Stern, 2006 34, 101, 433, 441
 Reagan, administration 431
 Reagan, Ronald 388, 425-427, 429-431, 434
 réchauffement climatique 34, 39, 53, 144, 345-346, 370, 375, 392, 418, 433
 récupération
 chaleur 73, 78-81, 105, 114, 117-118, 120, 129, 164-165, 172, 180, 197, 204-205, 224-225, 230, 238, 306

eaux de pluie 94, 165, 193-194
 énergie 70, 73, 79, 197, 230, 329
 énergie au freinage 275, 277, 286, 298-299, 312-313, 325, 327
 matériaux 70, 209
 recyclage
 appareils domestiques 88, 357
 déchets 53, 90, 189, 348
 eau 139, 163, 210
 économie circulaire 357
 emballages 356
 énergie 181
 métaux 198, 208-209
 organique 245-246
 ressources 42-43, 52, 86, 89, 94, 197, 366
 revenus 410

réduction de masse 276, 284, 316, 325
 réfrigérateurs
 Arçelik Voir Arçelik
 Sun Frost Voir Sun Frost
 règle du « mieux au moindre coût » 351
 réseau d'achat écologique 356
 résistance au roulement 272, 274-277, 284-285, 301-303, 315
 responsabilité sociale des entreprises 359-360
 revêtements antisalissures 329-330
 révolution néolithique 395
 riz 97, 102, 243, 252-253
 roches chaudes fracturables 86
 Rocky Mountain Institute 9, 58, 60, 69, 76, 106, 109, 125, 128-130, 270, 272-276, 280-281, 283-286, 302, 304, 306-308, 316
 Romm, Joseph 99, 154, 156
 Royaume-Uni

consommation d'eau 380
 efficacité énergétique 409
 emplois verts 53
 énergies renouvelables 84
 fiscalité 378
 intensité en énergie 321
 mesures écologiques 324
 productivité du travail 51, 413-414

RSE Voir responsabilité sociale des entreprises

S

Saunders Hotel Group, États-Unis 170
 SCEQE Voir gaz à effet de serre système communautaire d'échange de quotas d'émissions

Schumpeter, Joseph 45-46
secteur agricole 94, 101, 103, 233-263, 282, 381
secteur agroalimentaire et de la restauration 64, 90, 94-95, 101, 102-105, 238
secteur des technologies de l'information et de la communication 64, 100, 186
secteur du bâtiment 109-195
secteur du papier et des pâtes à papier 43, 64, 77, 89, 93, 100
secteur forestier 42
seigle 254
semis direct 239
sens 445-447
SGE Voir système de gestion
environnementale
société cyclique 396
stagflation 388, 428-429
Steiner, Achim 44, 436
Stern, Nicholas 58
Stockholm 294-295
Suède 52, 84, 172, 293, 318, 331, 350, 376, 378-379, 409, 417, 433
Suisse 115-117, 355, 369
Sun Frost 133, 135-136
suppression du labour 239
SUV Voir véhicule 4x4
système de gestion environnementale 361-363, 365
Szencorp 169-170, 173, 190

T

Tanner, Stephan 119
taxes
 carbone Voir gaz à effet de serre taxation 201
 écologiques Voir écotaxes 367
 Pigou 368, 407, 409
téléphones portables 419
téléviseurs 47, 49, 96, 125-126, 145, 171, 353, 440
Thaïlande 90, 240, 250
Thatcher, Margaret 425, 429, 431
The Natural Edge Project 55-340
TNEP Voir The Natural Edge Project
Totnes (Royaume-Uni) 448, 491
Toyota Prius 183, 271, 278, 286-287
trains
 à grande vitesse 267, 336, 338-340
 Eurostar 338
 Shinkansen 338-339

transport aérien 332, 335-338, 341, 433
transports aux heures de pointe 292, 294, 298
travail sans labour 255
tribunal du district de Hudiksvall, Suède 172
trifluorure d'azote 96
Tune-Up, projet (Inde) 169
turbulences 285, 304-306, 326, 335

U

Ukraine 200, 219
Union européenne
 agriculture 250
 empreinte écologique 40
 quotas d'émissions 96, 369-370
 recyclage 88
 réglementation 92, 271, 353-356, 360
 secteur de l'acier 197
 secteur du bâtiment 111, 148, 171, 181
 taxation 379, 432-433
United Parcel Service (UPS) 317-318
unités de réduction certifiée des émissions 371
URCE Voir unités de réduction certifiée des émissions

V

Vancouver (Canada) 296
vélo 267, 288-291, 295-296, 298
ventilation naturelle 168, 177, 185
vidéoconférence 64-65, 189, 267, 336-338
ville en transition 448
vote 446

W

Waldsee Biohaus 119-120
Wal-Mart 159-160, 174, 316-317, 360, 362, 364-365
Watt, James 393, 430
WBCSD Voir Conseil mondial des entreprises pour le développement durable

Z

Zengwei, Jiang 152
Zeobond 91, 221-223

Bibliographie

- 60 Minutes (2009) "Could 'Buy American' rule spark trade war ?", *CBS News*, 13 February 2009
- Abraham, L. E. (1996) "Daylighting", in Public Technology Inc. and US Green Building Council (eds) *Sustainable Building Technical Manual*, Public Technology Inc., ppiv.7 – iv.20.
- ACTU/ACF (2008) *Green Gold Rush : How Ambitious Environmental Policy can Make Australia a Leader in the Global Race for Green Jobs*, Australian Council of Trade Unions and the Australian Conservation Foundation
- Adret (1979) *Travailler deux heures par jour*, Le Seuil, Paris
- Agarwal, A. and Narain, S. (1991) *Global Warming in an Unequal World : A Case of Environmental Colonialism*, Centre for Science and Environment, New Delhi
- Alaoui, A., Feraille, A., Dimassi, A. and Nguyen, V. H. (2007) "Experimental study of sulfoaluminate concrete based materials", CONSEC'07 Tours, France
- Ali, M. and Talukder, M. (2008) "Increasing water productivity in crop production – A synthesis", *Agricultural Water Management*, vol 95, vol 1, pp1201-1213
- Ali, N. (2006) "Energy management in agriculture : Status, issues and the strategy", presentation to "Balancing Energy, Development and Climate Priorities in India", New Delhi, 30 November to 1 December 2006
- American Council for an Energy-Efficient Economy (2004) "Testimony of William R. Prindle", 7 October 2004, ACEEE Joint Economic Committee
- American Iron and Steel Institute (2005) *Saving One Barrel of Oil per Ton (SOBOT) : A New Roadmap for Transformation of Steelmaking Process*, American Iron and Steel Institute
- American Iron and Steel Institute (2008) "American steel committed to a sustainable future", News Releases, American Iron and Steel Institute, 21 April

- Anderson, R. C. (1999) *Economic Savings from Using Economic Incentives for Environmental Pollution Control*, Report prepared for the US Environmental Protection Agency
- Angel, D., Hamilton, T. and Huber, M. (2007) "Global environmental standards for industry", *Annual Review of Environmental Resources*, vol 32, pp295-316
- Architectural Energy Corporation (2003) *Design Brief : Integrated Design for Small Commercial HVAC*, Energy Design Resources
- Arnfolk, P. (2002) "Virtual mobility and pollution prevention : The emerging role of ICT based communication in organisations and its impact on travel", Dissertation, Lund University, Lund, Sweden
- ASHRAE (1997) *ASHRAE Handbook : Fundamentals*, ASHRAE, Atlanta, GA
- Aspen Publishers (2004) "An Illinois Passivhaus", *Energy Design Update*, vol 24, n° 5, Aspen Publishers
- The Associated Press (2007) "Europe to unplug from common light bulbs. In warming stand, bulb makers agree to eliminate least efficient lighting", *The Associated Press*, 7 March
- Association of American Railroads Policy and Economics Department (2009) *Railroads : Green from the Start*, Association of American Railroads
- Astle, P. (2008) "The barriers to a greater use of reclaimed steel in the UK construction industry", MPhil thesis, Department of Engineering, University of Cambridge, UK
- Atherton, J. (2007) "Declaration of the metals industry on recycling principles", *International Journal of Life Cycle Analysis*, vol 12, n° 1, pp59-60
- Atif, M. R, and Galasiu, A. D. (2003) "Energy performance of daylight-linked automatic lighting control systems in large atrium spaces : Report on two field-monitored case studies", *Energy and Buildings*, vol 35, pp441-461
- Australia Food and Grocery Council (2003) *Environment Report 2003*, Department of Environment and Water, Australia
- Australian Conservation Foundation (2005) "Peter Garrett opening the new 60L building", *ACF Feature Articles*, May 2005
- Australian Dairy Farmers (2004) *National Water Initiative*, Submission to COAG Senior Officials Group on Water, Australian Dairy Farmers
- Australian Greenhouse Office (1999) *Australian Commercial Building Sector Greenhouse Gas Emissions 1990-2010*, Department of the Environment and Heritage, Commonwealth of Australia
- Australian Greenhouse Office (2005a) *Energy Audit Tool : Lighting Control*, Department of the Environment and Heritage, Commonwealth of Australia
- Australian Greenhouse Office (2005b) *Working Energy Program : Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC)*, Department of the Environment and Heritage, Commonwealth of Australia

- Australian Greenhouse Office (2005c) *Energy Audit Tool : Boilers*, Department of the Environment and Heritage, Commonwealth of Australia
- Australian Institute of Refrigeration, Air-Conditioning and Heating (2003) "Case Study : Award winner makes its mark", *EcoLibrium*, August 2003, AIRAH
- Australian Institute of Refrigeration, Air-Conditioning and Heating (2005) *Last Days of the Cooling Tower ?*, AIRAH
- Austvik, O. G. (1999) "Norway's dependence on the oil and gas markets", *Internasjonal Politikk*, vol 57, n° 3, p379
- AWI (2007) *Wool Facts*, Australian Wool Innovation Limited, Australia
- Baer, R, Athanasiou, T., Kartha, S. and Benedict, E. (2008) *The Greenhouse Development Rights Framework*, Heinrich Boll Foundation, Berlin
- Barrow, M. (2006) *Initial Effects of the Landfill Allowance Trading Scheme*, Mimeo, University of Sussex
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. and Palutikof, J. P. (eds) (2008) *Climate Change and Water*, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva
- Baumol, W. J. and Oates, W. E. (1988) *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- BBC (2006) "Zero carbon homes plan unveiled", *BBC News*, London, 13 December 2006
- BBC (2008a) "Cut congestion zone, says Johnson", *BBC News*, 14 January 2008
- BBC (2008b) "Mayor quashes £25 C-charge hike", *BBC News*, 8 July 2008
- Bean, P. (2008) "Genset Locomotives blaze a trail down the low-emissions path", *Ecollo*, 14 October 2008
- Bellefontaine, R., Petit, S., Pain-Orcet, M., Deleporte, P. and Bertault, J. G. (2002) *Trees Outside Forests and Production Systems*, Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Bennett-Woods, D. (2008) *Nanotechnology : Ethics and Society*, CRC Press, London and Boca Raton
- Bertoldi, P. and Atanasiu, B. (2007) *Status Report 2006 : Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union*, Institute for Environment and Sustainability
- Biello, D. (2008) "Jumbo jet no longer biofuel virgin after palm oil fuels flight", *Scientific American*, 25 February 2008
- Binswanger, H. C., Frisch, H. and Nutzinger, H. (1983) *Arbeit ohne Umweltzerstörung*, Fischer, Frankfurt
- The Bioenergy Site (2008) "China fires up first chicken manure-biogas plant", *The Bioenergy Site Latest News*, 6 August
- Black, R. (2008) "Shun meat, says UN climate chief", *BBC News*, 7 September 2008

- Black, R. D., and Rogers, D. H. (1993) *Evaluating Pumping Plant Efficiency Using On-Farm Fuel Bills*, Kansas State University Cooperative Extension Service, Manhattan, Kansas, p4
- Blanch, D. (2004) "Waste plastic fuels Australian steelmaking's new hope", Transcript, *ABC Radio Australia*, 8 August 2004
- Bleischwitz, R. (1998) *Ressourcenproduktivität. Innovationen für Umwelt und Beschäftigung*, Springer, Berlin and Heidelberg
- Bodart, M. and Herde, A. D. (2002) "Global energy savings in office buildings by the use of daylighting", *Energy and Buildings*, vol 34, pp421-429
- Bowmer, K. (2004) *Water Innovation : A New Era for Australia*, Cl Creations, Lane Cove, NSW
- Boyd, B. K. and Gove, S. (2000) "Nucor Corporation and the U.S. steel industry", in Hitt, M. A., Ireland, R. D. and Hoskisson, R. E. (eds) *Strategic Management : Competitiveness and Globalization*, 4th Edition, Southwestern Publishing, Santa Fe, Oklahoma
- Braungart, M. and McDonough, W. (eds) (2008) *Die nächste industrielle Revolution*, EVA, Hamburg
- Brookes, L. (1979) "A low energy strategy for the UK by G Leach et al : A review and reply", *Atom*, n° 269, pp3-8
- Brookes, L. (1990) "Energy efficiency and economic fallacies", *Energy Policy*, vol 18, n° 2, pp199-201
- Brown, J. (2008) "Coatings show their worth", *Ship Repair&Conversion Technology*, The Royal Institution of Naval Architects, 2nd Quarter
- Brown, L. (2000) *Pushing Beyond the Earths Limits*, Earth Policy Institute, Washington DC
- Brown, L. (2008) *Plan B 3.0 : Mobilizing to Save Civilization*, W.W. Norton & Company, New York
- Bruno, M. and Sachs, J. (1985) *Economics of Worldwide Stagflation*, Harvard University Press, Cambridge, MA
- Brylawski, M. M. and Lovins, A. B. (1998) *Advanced Composites : The Car is at the Cross Roads*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- BTRE (2007) *Estimating Urban Traffic and Congestion Cost Trends for Australian Cities*, Bureau of Transport and Regional Economics, Australian Government
- Burke, W. (1996) "Building envelope", in Public Technology Inc. and US Green Building Council (eds) *Sustainable Building Technical Manual*, Public Technology Inc., ppiv.21 – iv.26
- Burns, C. (2009) *The Smart Garage (Vehicle to Grid) : Guiding the Next Big Energy Solution*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Business Wire* (2006) "Americans eat out nearly one out of every four meals and snacks, spending almost half their food", *Business Wire*, 14 June

- Bustnes, O. E. (2005) *Taking on the Leadership Challenge in Class 8 Trucking : How to Double Class 8 Truck Efficiency – Profitably*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- C40 Cities (2008) *Transport ; Copenhagen, Denmark*, Climate Leadership Group, Clinton Foundation
- California Energy Commission (2003) *Distributed Energy Resource Guide : Fuel Cells*, State of California Government
- Cao, S., Xie, G. and Zhen, L. (2008) "Total embodied energy requirements and its decomposition in China's agricultural sector", *Ecological Economics*, 16 September
- Carbon Trust (2006) *Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) : Saving Energy without Compromising Comfort*, Queen's Printer and Controller of HMSO
- Carrasco, E. R. (2007) "The 1980s : The debt crisis 136 the lost decade", Part V, *The E-Book on International Finance and Development*, The University of Iowa Center for International Finance and Development
- Cemex (2006) *2006 Sustainable Development Report*, Cemex
- Central Institute of Information & Techno-Economic Research for Steel Industry (undated) *Russian Steel Industry Against the Background of World Raw Materials Problems*, Central institute of Information & Techno-Economic Research for Steel Industry, Russia
- Chamon, M., Mauro, P. and Okawa, Y. (2008) "Mass car ownership in the emerging market giants", *Economic Policy*, vol 23, n° 54, pp243-296
- China Daily* (2008) "Eco-shopping helps Beijing improve its environment", *China Daily*, 10 November
- Chitsomboon, P. and Changplayngam, P. (2007) "Pig manure sweet money for Thai farmer", Reuters, 9 October
- Chiu, A. (2009) *One Twelfth of Global Electricity Comes from Combined Heat and Power Systems*, Worldwatch Institute, Washington, DC
- Cho, J. M. and Giannini-Spohn, S. (2007) "A China environmental health research brief: Environmental and health threats from cement production in China", paper prepared for the China Environment Forum, Washington, DC
- City of Melbourne (2007) "Eco-building cuts CO₂ 87 %, Electricity 82 %, Gas 87 % and Water 72 % : Eco-building – Council House 2 (CH2) New Municipal Office Building", case study presented at C40 Large Cities Climate Summit, 14-17 May 2007, New York City
- City of Vancouver (COV) (2007) *Transportation Plan Update – A Decade of Progress*, The City of Vancouver, Canada
- Clark, M. (2002) *In Search of Human Nature*, Routledge, Abingdon
- Clemens, J. and Ahlgrimm, H. J. (2001) "Greenhouse gases from animal husbandry : Mitigation options", *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol 60, pp287-300

- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P. and Amon, B. (2006) "Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 112, pp171-177
- Clift, W. (2005) "The good ship *Ethereal*", *RMI Solutions*, Spring, pp5-9
- Coase, R. (1960) "The problem of social cost", *The Journal of Law and Economics*, vol 3, pp1-44
- Cobb, C. and Cobb, J. (1994) *The Green National Product*, University Press of America, Lanham MD
- Collier, R. (2008) "Can China go green ?", *China Digital Times*, 16 December
- Communities and Local Government (2008) "New proposals to make the 2016 zero carbon homes target a reality", *News Release*, 17 December, COI News Distribution Service
- Cooley, H., Christian-Smith, J. and Gleick, P. H. (2008) *More with Less : Agricultural Water Conservation and Efficiency in California – A Special Focus on the Delta*, The Pacific Institute, Seattle, WA
- Corbett, J. and Winebrake, J. (2007) "Sustainable goods movement – Environmental implications of trucks, trains, ships and planes", *Environmental Magazine*, Air and Waste Management Association, November
- Cramer, D. R. and Brylawski, M. M. (1996) *Ultralight-Hybrid Vehicle Design : Implications for the Recycling Industry*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- CSIRO (2007) *Biofuels in Australia : An Overview of Issues and Prospects*, Rural Industries Research and Development Corporation
- Cui, Y. and Wang, X. (2006) "The state of the Chinese cement industry in 2005 and its future prospects", *Cement International*, vol 4, pp36-43
- Cummins (2006) *Every Drop : Secrets of Better Fuel Economy*, Cummins, USA
- Daggett, D. L., Brown, S. T. and Kawai, R. T. (2003a) *Ultra-Efficient Engine Diameter Study*, NASA CR-2003-212309, National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC
- Daggett, D. L., Kawai, R. and Friedman, D. (2003b) *Blended Wing Body Systems Studies : Boundary Layer Ingestion Inlets with Active Flow Control*, NASA/CR-2003-212670, National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC, p8
- Dairy Australia (2007) *Dairy 2007 Situation and Outlook*, Dairy Australia
- Daly, H. (1996) *Beyond Growth : The Economics of Sustainable Development*, Beacon Press, Boston, MA
- Daly, H. (1999) *Ecological Economics and the Ecology of Economics*, Edward Elgar, Cheltenham
- Daly, H. (2003) "Selected growth fallacies", *Social Contract Journal*, vol 13, n° 3
- Daly, H. and Cobb, J. B. (1989) *For the Common Good : Redirecting the Economy toward Community, the Environment and Sustainable Future*, Beacon Press, Boston, MA

- Davidovits, J. (1991) "Geopolymers – Inorganic polymeric new materials", *Journal of Thermal Analysis*, vol 37, n° 8, pp1633-1656
- Davidovits, J. (2002) "30 years of successes and failures in geopolymer applications – Market trends and potential breakthroughs", Geopolymer 2002 Conference, 28-29 October, Melbourne, Australia
- Davidson, S. (2005) "Air transport impacts take off", *ECOS : Towards A Sustainable Future*, n° 123, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Clayton, South Victoria, Australia
- De Beer, J. G., Worrell, E. and Blok, K. (1998) "Future technologies for energy efficient iron and steelmaking", *Annual Review of Energy and Environment*, vol 23, pp123-205
- DEEDI and QPIF (2007) *Information Paper on Industrial Hemp*, Department of Employment, Economic Development and Innovation & Queensland Primary Industries and Fisheries, Queensland Government
- Del Percio, S. (2009) "Barton Group Headquarters : LEED Platinum 105 in Glens Falls", *GreenBuildingsNYC*
- Delmas, M. (2002) "The diffusion of environmental management standards in Europe and the United States : An institutional perspective", *Policy and Science*, vol 35, pp91-119
- Demerjian, D. (2009) "This ride makes bullet trains look slow", *Wired*, 1 April
- Demos, T. and Tkaczyk, C. (2009) "Global 500 : The top 25", *CNN Global Edition*.
- Department of Environment and Water Resources (DEWR) (2007) *ESD Design Guide : Office and Public Buildings*, 3rd edition, DEWR, Australia
- Department of Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA) (2007) *Water Efficiency Guide : Office and Public Buildings*, DEWHA, Australia
- Department of Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA) (2009) *Your Home Technical Manual : Australia's Guide to Environmentally Sustainable Homes – Water Use*, DEWHA, Australia
- Department of Sustainability and Environment (2006) *2006 Melbourne Atlas*, Victorian Government
- Desha, C. and Hargroves, K. (2010) *Engineering Education for Sustainable Development : A Guide to Rapid Curriculum Renewal*, The Natural Edge Project, Earthscan, London
- DeSimone, L. D. and Popoff, F. (2000) *Eco-Efficiency – The Business Link to Sustainable Development*, MIT Press, Cambridge MA
- Deutsche Well (2007) "Sarkozy promises green revolution for France", *Deutsche Well*, 25 October
- Diaz, O. E. (2001) "Car free Bogotá : The response to the transportation challenge", *The New Colonist*, Duncansville, PA

- Dickson, M. H. and Fanelli, M. (2004) *What is Geothermal Energy ?* Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy
- Ditze, A. and Scharf, C. (2008) *Recycling of Magnesium*, Papierflieger Verlag, Clausthal-Zellerfeld, Germany
- Dovers, S. (2008) "Urban water : Policy, institutions and government", in Troy, P. (ed) *Troubled Waters*, Australian National University Epress, Australia
- Dow Jones Newswires (2004) "China delegation bought more than 500,000 MT US wheat", *Traders*, 19 February
- Drechsler, M. and Graham, A. (2005) "Innovative materials technologies : Bringing resource sustainability to construction and mining industries", presented at the 48th Institute of Quarrying Conference, 12-15 October, Adelaide SA
- Duxson, P. (2008) "Low carbon cement : Are we making any progress ?", *BEDP Environment Design Guide*, Royal Australian Institute of Architects
- Duxson, P. (2009a) Personal communication with Peter Duxson, Zeobond Director, 31 March
- Duxson, P. (2009b) Personal communications with Peter Duxson, Zeobond Director, 2 April
- Duxson, P., Provis, J., Lukey, G. and van Deventer, J. (2007) "The role of inorganic polymer technology in the development of green concrete", *Cement and Concrete Research*, vol 37, pp1590-1597
- Dymond, J. (2006) "Brussels' hi-tech eco house", *BBC News*, 23 March 2006
- Dyson, T. (1999) "World food trends and prospects to 2025", proceedings of the National Academy of Sciences colloquium, "Plants and Population : Is There Time ?", 5-6 December 1998, Arnold and Mabel Beckman Center, Irvine, CA
- Earthbeat Radio National (2000) "Can soils soak up greenhouse gases ?", Interview : Rattan Lal, *ABC Earthbeat Radio*, 16 December
- East Japan Railway Company (2005) "FASTECH 360 high-speed Shinkansen test train to debut : Running tests to start with the aim of the world's best Shinkansen service", East Japan Railway Company Press Release, 9 March
- East, R. (2006) "Sifting myths from mountains : On the long green march", in Green Futures (ed) *Greening the Dragon – China's Search for a Sustainable Future*, Green Futures Special Supplement, Forum for the Future, September
- Eckert, S., Karg, G. and Zängler, T. (2006) *Leitbilder nachhaltigen Konsums im Rahmen einer aktivierenden Verbraucherpolitik*, TU München, Munich
- Ecological Homes (2002) *Wastewater Systems*, Ecological Homes, Australia
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2000) *Water Resources Series No. 79*, United Nations, New York
- ECOS (2009) "Videoconferencing to cut public sector airfares and emission", *ECOS Magazine*, n° 148, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Clayton, South Victoria, Australia

- Educogen (2001) *The European Education Tool on Cogeneration*, 2nd edition, The European Association for the Promotion of Cogeneration, Belgium
- Edwards, S. and Magarey, P. (2007) "Cycling fact sheet : Environmental benefits of cycling", Cycling Promotion Fund and Bicycling Federation of Australia, Australia
- Ehrlich, P. R. and Holdren, J. P. (1971) "Impact of population growth", *Science*, vol 171, pp1212-17
- Eichholtz, P., Kok, N. and Quigley, J. (2008) *Doing Well by Doing Good ? Green Office Buildings*, Maastricht University, Netherlands, and University of California, Berkeley
- Elliott, R. and Spurr, M. (1999) *Combined Heat and Power : Capturing Wasted Energy*, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC
- Energy Conservation Center (1998) *Energy Conservation Databook 1998*, ECCJ, Japan
- Energy Information Administration (EIA) (1998) *Form EIA-846 : Manufacturing Energy Consumption Survey, and Form EIA-810, Monthly Refinery Report*, EIA, Washington, DC
- Energy Information Administration (EIA) (2006) *Annual Energy Outlook*, EIA, Washington, DC
- Energy Information Administration (EIA) (2007) *Annual Energy Review 2007*, Report No. DOE/EIA-0384, EIA, Washington, DC
- Energy Information Administration (EIA) (2008) *International Energy Outlook 2008*, EIA, Washington, DC
- Energy Resource (2006) "Wal-Mart turns to energy-saving LED lighting in 500-store retrofit", *Energy Resource*, 16 November
- Engineers Australia (2001) *Sustainable Energy Innovation in the Commercial Building Sector : The Challenge of a New Culture*, Sustainable Energy Building and Construction Taskforce Report, Engineers Australia
- Ensink, J., Mahmood, T., van de Hoek, W., Raschid-Sally, L. and Amerasinghe, E. (2004) "A nation-wide assessment of wastewater use in Pakistan : An obscure activity or a vitally important one ?" *Water Policy*, vol 6, pp1-10
- Environment News Service (2006) "Cutting energy waste in China, India, Brazil could avert climate change", *Environment News Service*, 30 May
- Environmental Leader (2008a) "Continental airlines touts green efforts", *Environmental Leader*, 29 December
- Environmental Leader (2008b) "UPS expands electric vehicle fleets", *Environmental Leader*, 12 November
- Environmental Leader (2009a) "Air New Zealand completes flight powered by jatropa biofuel", *Environmental Leader*, 5 January
- Environmental Leader (2009b) "Options abound for low-emission big trucks", *Environmental Leader*, 20 March

- Environmental Leader* (2009c) "Wal-Mart tests new trucks, surpasses fuel efficiency goals", *Environmental Leader*, 3 February
- Environmental Leader* (2009d) "Wal-Mart unveils largest PV installation in Latin America", *Environmental Leader*, 20 January
- Enviros Consulting Limited (2006) *Anaerobic Digestion in Agriculture : Policies and Markets for Growth*, Department of Environment, Food and Rural Affairs, London
- ESource* (1999) "Prospectus : Multi-client study – Delivering energy and energy services to the restaurant sector", *ESource*, Boulder, CO
- European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations (2008) *The Compelling Facts about Plastics : An Analysis of Plastics Production, Demand and Recovery for 2007 in Europe*, European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations, Brussels
- European Communities (1994) *Potential Benefits of Integration of Environmental and Economic Policies : An Incentive-based Approach to Policy Integration*, European Communities Environmental Policy Series, Brussels, pp336-337
- European Communities (2004) *Buying Green ! A Handbook on Environmental Public Procurement*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Evans, L. T. (1998) "Greater crop production : Whence and whither ?", in Waterlow, J. C., Armstrong, D. G., Fowden, L. and Riley, R. (eds) *Feeding a World Population of More than Eight Billion People*, Oxford University Press, New York, pp89-97
- Evans, P. (2008) "BYD launch world's first production plug-in hybrid", *Gizmag*, 15 December
- Faiola, A. (2006) "Turn off the heat – How Japan made energy saving an art form", *The Guardian*, 17 February
- FAO (2008) "World potato production 1991-2007", *Potato World*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- FAO and IFAD (2006) "Water for food, agriculture and sustainable livelihoods", in United Nations (eds) *The 2nd UN World Water Development Report*, United Nations World Water Assessment Programme
- Faramarzi, R., Coburn, B. and Sarhadian, R. (2002) "Performance and energy impact of installing glass doors on an open vertical deli/dairy display case", *ASHRAE Transactions : Symposia*.
- Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs (2008) *Freight Transport and Logistics Masterplan*, Federal Government, Germany
- Feist, W. (1996) *The Passive House in Darmstadt-Kranichstein Planning, Construction, Results*, Passive House Institute, Darmstadt
- Fenton, M. (1998) *Iron and Steel Recycling in the United States in 1998*, US Department of Interior and US Geological Survey

- Ferret (2005) *Salt into Steel*, Ferret, Chatswood, Australia
- Fiehn, T. and Corin, C. (2002) *Communist Russia under Lenin and Stalin*, Hodder Murray Publications, London
- FLSMidth (2006) "Cement plant pyro-technology", presentation to the IEA-WBCSD Workshop "Energy Efficiency and CO₂ Emission Reduction Potentials and Policies in the Cement Industry", IEA, Paris, 4-5 September
- Food and Water Watch (2007) *Fuels and Emissions from Industrial Agriculture*, Food and Water Watch, Washington, DC
- Fortmeyer, R. (2008) "The Council House 2 (CH2) building", *Grandbuild.com (Technology)*, 14 August
- Fox, J. W. and Cramer, D. R. (1997) *Hypercars : A Market-Oriented Approach to Meeting Lifecycle Environmental Goals*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Francisco, P. W., Davis, B., Baylon, D. and Palmiter, L. (2004) "Heat pumps system performance in northern climates", *ASHRAE Transactions*, vol 110, part 1, pp442-451
- Frank, L., Andersen, M. and Schmid, T. (2004) "Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars", *American Journal of Preventive Medicine*, vol 27, n° 2, pp87-96
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (2000) *The Solar House in Freiburg : From a Self-Sufficient Solar House, to a Research Platform*, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), Freiburg, Germany
- Frechette, R. and Gilchrist, R. (2008) *Towards Zero Energy : A Case Study of the Pearl River Tower*, Guangzhou, China, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL
- Frechette, R., and Gilchrist, R. (2009) "Seeking zero energy", *Civil Engineering*, American Society of Civil Engineering, vol 79, n° 1, January
- Freedonia Group Inc. (2008) *World Cement*, Freedonia Group Inc., Cleveland, OH
- Frey, C. and Kuo, P. (2007a) "Assessment of potential reduction in greenhouse gas (GHG) emissions in freight transportation", Proceedings, International Emission Inventory Conference, US Environmental Protection Agency, Raleigh, NC, 15-17 May
- Frey, C. and Kuo, P. (2007b) *Assessment of Potential Reduction in Greenhouse Gas (GHG) Emissions in Freight Transportation*, North Carolina State University, Raleigh, NC
- Friedman, T. (2008) *Hot, Flat and Crowded : Why the World Needs a Green Revolution – And How We Can Renew our Global Future*, Allen Lane, London
- Friedman, T. (2009) "Show us the ball", *The New York Times*, 9 April
- Fryxell, G., Wing-Hung Lo, C. and Chung, S. (2004) "Influence of motivations for seeking ISO 14001 certification on perceptions of EMS effectiveness in China", *Environmental Management*, vol 33, n° 2, pp239-251, Springer-Verlag, New York

- Fuji Xerox Australia (2008) *Fuji Xerox Australia Sustainability Report*, Fuji Xerox Australia
- Fumikazu, Y. (2007) *The Cyclical Economy of Japan*, Hokkaido University, Sapporo, Japan
- Gale, F., Tuan, F., Lohmar, B., Hsu, H. and Gilmour, B. (2002) "China's food and agriculture : Issues for the 21 st century", *Agricultural Information Bulletin*, no AIB775, April 2002, US Department of Agriculture, Economic Research Service
- Gans, W., Shipley, A. M. and Elliot, R. N. (2007) *Survey of Emissions Models for Combined Heat and Power Systems*, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC
- Garg, V. and Bansal, N. K. (2000) "Smart occupancy sensors to reduce energy consumption", *Energy and Buildings*, vol 32, pp81-87
- Garnaut, R. (2008a) *Garnaut Interim Report*, Commonwealth of Australia, Australia
- Garnaut, R. (2008b) *The Garnaut Climate Change Review Final Report*, Garnaut Climate Change Review, Cambridge University Press, Port Melbourne
- Gauna, K. and Page, E. (2005) *Lighting Research Program : Project 2.1 Hybrid Outdoor Lighting Systems – Final Report*, California Lighting Technology Center, Davis, CA
- Gemeente Amsterdam (2008) *Amsterdam Paves the Way for Cyclists*, Gemeente Amsterdam, Netherlands
- Geyer, R. (2004) "Environmental and economic evaluation of supply loops and their constraints", PhD thesis, Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Guildford
- Gleick, P. (2001) "Making every drop count", *Scientific American*, February, pp28-33
- Gleick, P. (2008) *The World's Water 2008-2009 : The Biennial Report on Freshwater Resources*, Island Press, Chicago, IL
- Gleick, P. and Cooley, H. (2009) "Energy implications of bottled water", *Environmental Research Letters*, vol 4
- Glukhovsky, V. D. (1994) "Ancient, modern and future concretes", Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Kiev, Ukraine, pp1-9
- Goldstein, E. (1999) *The Trade Off Myth : Fact & Fiction About Jobs and the Environment*, Island Press, Washington DC
- Goodwin, I. and Boland, A. M. (2002) *Scheduling Deficit Irrigation of Fruit Trees for Optimizing Water Use Efficiency in Deficit Irrigation Practices*, FAO Technical Papers, Water Report No. 22
- Goodwin, P. (2004) "The economic costs of road traffic congestion", Discussion paper, The Rail Freight Group, London

- Goorskey, S., Smith, A. and Wang, K. (2004) “#8 kitchen appliances”, *RMI Home Energy Briefs*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Gorbachev, M. (2003) *Conversations with Gorbachev : On Perestroika, the Prague Spring, and the Crossroads of Socialism*, Columbia University Press, New York
- Gordon, K. L., Sullivan, G. P., Armstrong, P. R., Richman, E. E. and Matzke, B. D. (2006) *Spectrally Enhanced Lighting Program Implementation for Energy Savings : Field Evaluation*, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA
- Gore, A. (2006) *An Inconvenient Truth : The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It*, Rodale Press, Emmaus, PA
- Grant, B. (2007) “Can labs go green ?”, *The Scientist*, vol 21, n° 6, p270
- Green Growth (2008) “Confederation of Indian Industry Sohrabji Godrej Green Business Center Building India”, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Bangkok
- Green News (2008) “Wal-Mart Canada opens first environmental demonstration store”, *Green News*, Friday 16 January 2009
- GreenBuilding (2006) *GreenBuilding : Enhanced Energy Efficiency for Non-Residential Buildings*, German Energy Agency, Berlin
- Greene, D. L. and Hopson, L. (2003) *Running Out of and Into Oil : Analyzing Global Depletion and Transition Through 2050*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN
- Greening, L. A., Greene, D. and Difiglio, C. (2000) “Energy efficiency and consumption : The rebound effect – A survey”, *Energy Policy*, vol 28, pp389-401
- Griffith, B., Long, N., Torcellini, P. and Judkoff, R. (2007) *Assessment of the Technical Potential for Achieving Net Zero-Energy Buildings in the Commercial Sector*, National Renewable Energy Laboratory, Boulder, CO
- Groscurth, H.M., Bräuer, W., Hohmeyer, O., Kühn, I. and Weinreich, S. (1998) *Long-Term Integration of Renewable Energy Sources into the European Energy System*, Physica Verlag, Heidelberg
- Grossman, G. and Krueger, A. (1991) “Environmental impacts of a North American free trade agreement”, National Bureau of Economic Research Working Paper 3914, NBER, Cambridge, MA.
- Grubb, M. (1990) *Energy Policies and the Greenhouse Effect*, Royal Institute of International Affairs, London
- Grunwald, M. (2008) “America’s untapped energy resource : Boosting efficiency”, *Time Magazine*, 31 December
- The Guardian* (2008) “Johnson promises ‘less stick, more carrot’ for London commuters”, *The Guardian*, 3 March
- Gumbel, P. (2008) “Lighting : Bright idea”, *Time Magazine*, 4 December
- Gupta, S. (2003) “Barefoot, female and a solar engineer”, *infochange, Women’s Feature Service*, January

- Gupta, S. (2009) "Barefoot, female and a solar engineer", *Boloji.com*, 28 April
- Hamilton, C., Turton, H., Saddler, H. and Jinlong, M. (2002) "Long-term greenhouse gas scenarios : A pilot study of how Australia can achieve deep cuts in emissions", Discussion Paper Number 48, The Australia Institute, Manuka, ACT
- Harfst, W (2008) "Enhanced cooling tower maintenance saves water", *Maintenance Technology*, October
- Hargroves, K. and Smith, M. (2005) *The Natural Advantage of Nations : Business Opportunities, Innovation and Governance in the 21 st Century*, Earthscan, London, The Natural Edge Project, Australia
- Hargroves, K., Smith, M. and Lovins, L. H. (2005) *Prospering in a Carbon Constrained World : Profitable Opportunities for Greenhouse Gas Emissions Reduction*, Chicago and European Climate Exchange (CCX/EUX) Opportunities Executive Report '
- Harrington, L. and Holt, S. (2006) *Matching World's Best Regulated Efficiency Standards : Australia's Success in Adopting New Refrigerator MEPS Energy Efficient Strategies*, Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage, Australia.
- Harris, S. (2007) "The potential role of industrial symbiosis in combating global warming", International Conference on Climate Change, 29-31 May, Hong Kong
- Harvey, L. (2006) *A Handbook on Low-energy Buildings and District Energy Systems : Fundamentals, Techniques and Examples*, James and James, London
- Hatfield-Dodds, S., Carwardine, J., Dunlop, M., Graham, P. and Klein, C. (2007) "Rural Australia providing climate solutions", *Preliminary Report to the Agricultural Alliance on Climate Change*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Clayton, South Victoria, Australia
- Hawken, P., Lovins, A. and Lovins, H. (1999) *Natural Capitalism : Creating the Next Industrial Revolution*, Earthscan, London
- Heinberg, R. (2004) *Powerdown : Options and Actions for a Post-Carbon World*, New Society Publishers, Gabriola Island, BC
- Heinberg, R. (2007) *Peak Everything : Waking Up to the Century of Declines*, New Society Publishers, Gabriola Island, BC
- Henderson, H. (2008) "Changing games in the global casino", *IFS Columns*, 6 August
- Hendriks, C., Worrell, E., de Jager, D., Blok, K. and Riemer, P. (2004) "Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry", paper presented to the Greenhouse Gas Control Technologies Conference
- Henry, L. A. and Douhovnikoff, V. (2008) "Environmental issues in Russia", *Annual Review of Environmental Resources*, vol 33, pp437-460
- Herring, H. (1998) *Does Improving Energy Efficiency Save Energy : The Economist Debate ?*, The Open University, Energy and Environment Research Unit, Report No. 74

- Heschong Mahone Group (1999) *Daylighting in Schools : An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance*, Pacific Gas and Electric Company, San Francisco, CA
- Hewlett-Packard Development Company (2007a) 'Global citizenship', presentation, personal communication with HP Australia
- Hewlett-Packard Development Company (2007b) *Energy Efficiency Setup Guide*, HP Development Company, Palo Alto, CA
- Hird, W. (2005) "Recycled water – case study : BlueScope Steel, Port Kembla Steelworks", presented at the International Conference on Integrated Concepts on Water Recycling, Wollongong, NSW, Australia, 14-17 February
- Hirsch, R. L. (2005) "The inevitable peaking of world oil production", *The Atlantic Council of the US Bulletin*, vol XVI, n° 3
- Hirsch, R. L., Bezdek, R. and Wendling, R. (2005) *Peaking of World Oil Production : Impacts, Mitigation, and Risk Management*, US Department of Energy/National Energy Technology Laboratory
- Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2008) *Globalization of Water : Sharing the Planets Freshwater Resources*, Blackwell Publishing, Oxford
- Homer-Dixon, T. (2006) *The Upside of Down : Catastrophe, Creativity, and the Renewal of Civilization*, Knopf, Island Press
- Hopkins, R. (2005) *2021 : An Energy Descent Action Plan*, Kinsale Further Education College, Kinsale, Co. Cork
- Houghton, R. (2005) "The contemporary carbon cycle" in Schlesinger, W. (ed) *Biogeochemistry*, Elsevier Science, Amsterdam, pp473-513
- Humphreys, K. and Mahasenan, M. (2002) *Towards a Sustainable Cement Industry*, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Geneva, Switzerland
- Huntingdon, H. (1992) "Review of Grubb et al, Energy Policies and the Greenhouse Effect", *Energy Journal*, vol 13, n° 4, pp220-224
- IAI (2006) *Aluminium for Future Generations : Sustainability Update 2005*, International Aluminium Institute, London
- IANs (2008) "Surge in cereal production to bring food market relief", *Thaindian News*, 19 July
- ICAO (2006) *Form A – ICAO Reporting Form for Air Carrier Traffic*, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada
- ICLEI (2009) "If climate change is the problem, sustainable procurement is the solution", *ICLEI Newsletter*, n° 33, Winter 2008/2009
- ILO (2008) *World of Work 2008 : Global Income Equality Gap is Vast and Growing*, International Labour Organization Report, Geneva
- IMF (2009) "World economic outlook : Global economy contracts, with slow recovery next year", *IMF Survey Magazine*, 22 April

- Institute of Materials, Minerals and Mining (2002) 'The HIs melt Iron-Making Process', *Materials World*, vol 10, n° 11, pp28-30
- Institute of Travel Management (2009) *Case Study 5 PricewaterhouseCoopers*, Institute of Travel Management Project Icarus, Macclesfield, Cheshire
- InterAcademy Council (2007) *Lighting the Way : Toward a Sustainable Energy*, InterAcademy Council, Amsterdam, the Netherlands
- Interlaboratory Working Group (2000) *Scenarios for a Clean Energy Future*, Oak Ridge National Laboratory and Berkeley, California
- International Energy Agency (2000) *Experience Curves for Energy Technology Policy*, OECD, IEA, Paris
- International Energy Agency (2002) *Renewables in Global Energy Supply : An IEA Fact Sheet*, IEA, Paris
- International Energy Agency (2003) *Cool Appliances : Policy Strategies for Energy-Efficiency Homes*, IEA, Paris
- International Energy Agency (2004) *30 Years of Energy Use in IEA Countries*, IEA, Paris
- International Energy Agency (2006a) *Light's Labour's Lost : Policies for Energy-Efficient Lighting*, IEA, Paris
- International Energy Agency (2006b) *World Energy Outlook 2006*, IEA, Paris
- International Energy Agency (2006c) "Energy efficiency and CO₂ emission reduction potentials and policies in the cement industry", IEA and WBCSD Workshop, Paris, 4-5 September
- International Energy Agency (2006d) *Energy Technology Perspectives 2006 : Scenarios and Strategies to 2050*, IEA, Paris
- International Energy Agency (IEA) (2007a) *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions – Energy Indicators*, IEA, Paris
- International Energy Agency (2007b) *World Energy Outlook 2007 : China and India Insights*, Organisation for Economic Co-operation and Development and IEA, Paris
- International Energy Agency (2008) *World Energy Outlook 2008*, IEA, Paris
- International Iron and Steel Institute (1998) *Energy Use in the Steel Industry*, IISI, Brussels
- International Iron and Steel Institute (2005) *Steel : The Foundation of a Sustainable Future Sustainability*, Report of the World Steel Industry 2005, IISI, Brussels
- International Iron and Steel Institute (2008) *Sustainability Report 2008 : The Measure of Our Sustainability*, Report of the World Steel Industry, IISI, Brussels
- IPART (1999) "Regulation of network service providers", Discussion Paper DP-34, Independent Pricing and Regulatory Tribunal, Sydney

- IPART (2002) "Inquiry into the role of demand management and other options in the provision of energy services", Interim Report, Review Report No. 02-1, Independent Pricing and Regulatory Tribunal, Sydney
- IPCC (1999) *Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Contribution of Working Groups I and III, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2001) *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the 3rd Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2007) *Climate Change 2007 : Mitigation of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- ISO (2000) *Business Plan : ISO/TC 104 Freight Containers*, International Organization for Standardization, Geneva
- ISO (2004) *ISO 14001 : 2004 Environmental Management Systems – Specification with Guidance for Use*, International Organization for Standardization, Geneva
- Ivanhoe Cambridge (2007) *Case Study – Commercial Building : Metrotower Office Complex*, Ivanhoe Cambridge, Montreal, Canada
- Jacobs, P. (2003) *Small HVAC System Design Guide : Design Guidelines*, California Energy Commission, Sacramento, CA
- Jafri, S. A. (2004) "Kalam to open world's greenest building", *Rediff.com*, 13 July
- James, P. (2007) *Conferencing at DFID – The Economic, Environmental and Social Impacts*, SustainIT, Peterborough
- Janssen, R. (2004) *Final Report : Towards Energy Efficient Buildings in Europe*, The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings (EuroACE), Brussels
- Japan Cement Association (JCA) (2006) "Cement industry's status and activities for GHG emissions reduction in Japan", IEA – WBCSD Workshop on Energy Efficiency and CO₂ Emission Reduction Potentials and Policies in the Cement Industry, 4-5 September, Paris
- Jaswal, P. and Das Gupta, M. (2006) 'Energy demands and sustaining growth in South and East Asia', Topic Paper, Session 2 : "Challenges and Risks to Development in Asia Parallel Group 2A", Asia 2015 Conference, www.asia-2015conference.org.
- Jennings, J. D., Rubinstein, F. M., DiBartolomeo, D. and Blanc, S. L. (2000) *Comparison of Control Options in Private Offices in an Advanced Lighting Controls Testbed*, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley
- Jevons, W. S. (1865) *The Coal Question*, Macmillan, London
- Jochem, E. (ed) (2004) *Steps Towards a Sustainable Development ; A White Boole for R&D of Energy-Efficient Technologies*, Novatlantis, Villigen, Switzerland

- Jones, T. (2003) "Pricing water : Water pricing is becoming more widespread, with the dual aim of expanding supply and encouraging more responsible use", *OECD Observer*, no 236
- Josa, A., Aguado, A., Heino, A., Byars, E. and Cardin, A. (2004) 'Comparative analysis of available life-cycle inventories of cement in the EU', *Cement and Concrete Research*, vol 34, pp1313-1320
- JR East Group (2008) *Super Green Car*, East Japan Railway Company, Tokyo, Japan
- Kamakaté, F. (2007) "Understanding current and future trends in energy intensity from heavy-duty trucks", presentation by the International Council on Clean Transportation to the International Workshop on Fuel Efficiency Policies for Heavy-Duty Vehicles, International Energy Agency, 22 June
- Kaniaru, D., Shende, R., Stone, S. and Zaelke, D. (2007) 'Strengthening the Montreal Protocol : Insurance against abrupt climate change', *Sustainable Development Law and Policy Publication*, March
- Kapp, K. W. (1971) *The Social Costs of Private Enterprise*, Schocken Books, New York
- Karaba, A., Dixit, S., Greco, R., Aharoni, A., Trijatmiko, K., Marsch-Martinez, N., Krishnan, A., Nataraja, K., Udayakumar, M., and Pereira, A. (2007) "Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY an Arabidopsis drought and salt tolerance gene", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol 104, no 39, pp15270-15275
- Kataria, P. and Joshi, A. (2006) *Energy Use in Indian Agriculture*, Punjab Agricultural University, India
- Kats, G. (2003) *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings*, a report to California's Sustainable Building Task Force
- Kavanagh, L. (2007) Personal communication with Larry Kavanagh, American Iron & Steel Institute (AISI), 29 January
- Kempton, W. and Tomic, J. (2005a) 'Vehicle to grid fundamentals : Calculating capacity and net revenue', *Journal of Power Sources*, vol 144, no 1, pp268-279
- Kempton, W. and Tomic, J. (2005b) "Vehicle to grid implementation : From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy", *Journal of Power Sources*, vol.144, no 1, pp280-294
- Kempton, W., Tomic, J., Letendre, S., Brooks, A. and Lipman, T. (2001) *Vehicle-to-Grid Power : Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California*, report prepared for California Air and Resources Board, California EPA, and LA Department of Air and Water
- Kempton, W., Udo, V., Huber, K., Komara, K., Letendre, S., Baker, S., Brunner, D. and Pearre, N. (2009) *A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System*, University of Delaware, Pepco Holdings Inc., PJM Interconnect, and Green Mountain College

- Kennett, S. (2009) 'BREEAM and LEED to work together on new global standard', *Building Sustainability*, 3 March
- Kenway, S. J., Priestley, A., Cook, S., Seo, S., Inman, M., Gregory, A. and Hall, M. (2008) *Energy Use in the Provision and Consumption of Urban Water in Australia and New Zealand*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Water For A Healthy Country Flagship, Australia
- Kenworth Truck Company (2006) *White Paper on Fuel Economy*, Kenworth Truck Company, Kirkland, WA
- Kenworthy, J. and Laube, F. (1999) *An International Sourcebook of Automobile Dependence in Cities, 1960-1990*, University Press of Colorado, Boulder, CO
- Kenworthy, J. and Laube, F. (2001) *The Millennium Cities Database for Sustainable Transport*, International Union of Public Transport (UITP) and Institute for Sustainability and Technology Policy (ISTP), Brussels
- Kenworthy, J. and Hu, G. (2002) "Transport and urban form in Chinese cities : An international comparative and policy perspective with implications for sustainable urban transport in China", *DISP* [Zurich], vol 151, pp4-14
- Kenworthy, J., Laube, F., Newman, P. and Barter, P. (1997) *Indicators of Transport Efficiency in 37 Cities*, Report to World Bank, ISTP, Murdoch University, Western Australia
- Khazzoom, D. J. (1980) "Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances", *The Energy Journal*, vol 1, pp21-40
- Khazzoom, D. J. (1989) "Energy savings from more efficient appliances : A rejoinder", *Energy Journal*, vol 10, n° 1, pp157-166
- Kim, Y. and Worrell, E. (2002) "CO₂ emission trends in the cement industry : An international comparison", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol 7, n° 2, pp115-133
- King, B., Payne, J. and Villiott, C. (2008) *Green Vessel Design : Guiding Principles for Environmental Best-Practices through Design*, Elliott Bay Design Group, Seattle, WA
- Klein, N. (2007) *The Shock Doctrine : The Rise of Disaster Capitalism*, Metropolitan Books, New York
- Kleiner, K. (2007) "The Shipping Forecast", *Nature*, 20 September, vol 449, pp272-273
- Koerner, P. (2008) "LEED Platinum home of the future reduces energy costs by 80%", *Jetson Green* (on-line magazine)
- Kondratiev, N. D. (1984) *The Long Wave Cycle*, Richardson & Snyder, New York
- Kondratiev, N. D., Wilson, S. and Makasheva, N. (1998) *The Works of Nikolai D. Kondratiev*, 4 volume set, Pickering and Chatto, London
- Kong, P. (undated) "Reducing your carbon footprint in the client environment", presentation, HP and Intel, personal communication with HP Australia

- Konnola, T. and Unruh, G. (2007) 'Really changing the course : The limitations of environmental management systems for innovation', *Business Strategy and the Environment*, vol 16, Wiley InterScience, John Wiley & Sons Inc., Maiden, MA
- Kooistra, K. and Termorshuizen, A. (2006) *The Sustainability of Cotton : Consequences for Man and Environment*, Goede Waar & Co., Amsterdam
- Kornevall, C. (2008) "Building boom in Brazil needs a green plan", World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) Energy Efficient Buildings (EEB) Blog
- Korzeniewski, J. (2009) 'Toyota : Plug-in Prius returning 65 MPG in testing', *Autobloggreen*, 2 February
- KPMG (2004) *KPMG's Corporate Tax Rates Survey – January 2004*, KPMG International
- Kraemer, R. A., Kampa, E. and Interwies, E. (2007) *The Role of Tradable Permits in Water Pollution Control*, Contract paper for the Inter-American Development Bank, Washington, DC
- Krivenko, P. V. (1999) "Alkaline cements : Structure, properties, aspects of durability", Proceedings of the Second International Conference on Alkaline Cements and Concretes, May 1999, Kiev, Ukraine, pp3-43.
- Kruska, M., Ichiro, D., Ohbayashi, M., Takase, K., Tetsunari, L, Evans, G., Herbergs, S., Lehmann, H., Mallon, K., Peter, S. and Aßman, D. (2003) *Energy Rich Japan*, Greenpeace International and Greenpeace Japan
- Laitner, J. A. (2000) *Energy Efficiency : Rebounding to a Sound Analytical Perspective*, Elsevier, Amsterdam
- Lal, R. (2003) 'Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect', *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol 22, pp151-184
- Lamprinidi, S. and Ringland, L. (2008) *A Snapshot of Sustainability Reporting in the Construction and Real Estate Sector*, Global Reporting Initiative Research and Development Series
- Lawrence Berkeley National Laboratory (2004) *China Energy Datatools*, Version 6.0, China Energy Group
- Lee, E. S., DiBartolomeo, D. L. and Selkowitz, S. E. (1998) 'Thermal and daylighting performance of an automated Venetian blind and lighting system in a full-scale private office', *Energy and Buildings*, vol 29, pp47-63
- Leifsson, L. T., and Mason, W. H. (2005) 'The blended wing body aircraft', *Velabrogd* (Student Magazine of the Department of Mechanical and Industrial Engineering), University of Iceland, Reykjavik, Iceland, April, pp8-10
- Li, D. H. W. and Lam, J. C. (2003) "An investigation of day/lighting performance and energy saving in a daylight corridor", *Energy and Buildings*, vol 35, pp365-373
- Lidderdale, J., Day, T. and Jones, P. (2006) 'Fuel cell CHP for buildings', presented at the Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) Annual Conference, 21 November

- Liedtke, C. and Merten, T. (1994) 'MIPS : Resource management and sustainable development', Proceedings of the Second International Conference on "The Recycling of Metal", 19-21 October, Amsterdam, pp163-173
- Lin, J. (2002) 'Appliance efficiency standards and labelling programs in China', *Annual Review of Energy and the Environment*, vol 27, pp349-367
- Lister, M. (2009) Personal communications with Mark Lister, Szencorp's Group Manager of Corporate Affairs, 9 April
- Listhaug, O. (2005) "Oil wealth dissatisfaction and political trust in Norway : A resource curse", *West European Politics*, vol 28, n° 4, pp834-851
- Litman, T. (2006) *London Congestion Pricing, Implications for Other Cities*, Victoria Transport Policy Institute, Canada
- Lovegrove, K. and Dennis, M. (2006) 'Solar thermal energy systems in Australia', *International journal of Environmental Studies*, vol 63, n° 6, pp791-802
- Lovins, A. (1988) 'Energy savings resulting from the adoption of more efficient appliances : Another view', *Energy Journal*, vol 9, n° 2, pp155-162
- Lovins, A. (2004) 'Energy efficiency, taxonomic overview for earth's energy balance', in Cleveland, C. J. (ed) *Encyclopaedia of Energy*, volume 1, Elsevier, Amsterdam
- Lovins, A. B. (2005) 'More profit with less carbon', *Scientific American*, September
- Lovins, A. B. (2007a) 'Class lectures in advanced energy efficiency : 3 - Transportation', Stanford University, Stanford, CA
- Lovins, A. B. (2007b) 'Reinventing the wheels : The automotive efficiency revolution', *Economic Perspectives*, vol 1, n° 2, pp 9-12
- Lovins, A. B. and Cramer, D. R. (2004) 'Hypercars, hydrogen, and the automotive transition', *International Journal of Vehicle Design*, vol 35, n° 1/2, pp50-85
- Lovins, A. B., Datta, K., Feiler, T., Rabago, K., Swisher, J., Lehmann, A. and Wicker, K. (2002) *Small is Profitable : The Hidden Economic Benefits of Making Electrical Resources the Right Size*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Lovins, A. B., Datta, E. K., Bustnes, O. E., Koomey, J. G. and Glasgow, N. J. (2004) *Winning the Oil Endgame : Innovation for Profits, Jobs and Security*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Lowe, L., McEvoy, J., McKnoulty, J., Derrington, P. and Losee, S. (2007) *Brisbane's Plan for Action on Climate Change and Energy*, Brisbane City Council, Australia
- Lubber, M. S. (2008) 'Capturing energy efficiency in Mass', *Contributors/ projo.com/ The Providence Journal*, 20 July
- Lyden, N. M. (undated) 'Micro-sprinkler irrigation improves orchard production', *Southwest Farm Press*
- Macintosh, A. (2007) *Climate Change and Australian Coastal Shipping*, Discussion Paper Number 97 to The Australia Institute, Manuka, ACT

- MacMillan, G. (2009) Personal communication with Glenn MacMillan, Genesis Now engineer, 20 March
- Madew, R. (2006) *Dollars and Sense of Green Buildings*, Green Building Council of Australia
- Mailer, A. (2007) Personal communication with Alistair Mailer, Project Manager, The Green Building Partnership, 11 October
- Mailer, A. (2009) Personal communication with Alistair Mailer, Project Manager, The Green Building Partnership, 27 April
- Marchaim, U. (1992) *Biogas Process for Sustainable Development*, Food and Agricultural Organization of the United Nations
- Marquand, R. (2006) 'A "green" building arises amid Beijing smog', *The Christian Science Monitor*, 3 April
- Marsh, G. (2008) 'Biofuels : Aviation alternative ?', *Renewable Energy Focus*, vol 9, n° 4, July – August, pp48-51
- Martcheck, K. (2006) 'Modelling more sustainable aluminium ; Case study', *International Journal of LCA*, vol 11, pp34-37
- Martin, K. (2008) 'Obama to "repower America" ', *EDIE News*, 16 December
- Martin, N., Worrell, E. and Price, L. (1999a) *Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the US Iron and Steel Sector*, Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA
- Martin, N., Worrell, E. and Price, L. (1999b) *Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the US Cement Industry : Environmental Energy Technologies*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA
- Martin, N., Worrell, E., Ruth, M., Price, L., Elliott, R., Shipley, Q. and Thorne, J. (2000) *Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies*, Lawrence Berkeley National Laboratory/American Council for an Energy-Efficient Economy, Berkeley, CA/Washington, DC
- Mathiesen, B., Lund, H. and Norgaard, P. (2008) 'Integrated transport and renewable energy systems', *Utilities Policy*, vol 16, pp107-116
- Mathur, A. (2007) "Energy efficiency in buildings in India : An overview", presentation by the Director General of the Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, Government of India, at the 2nd meeting of the Indo-German Energy Forum, 20 December
- McAllister, I. (2004) "Moving to a low carbon economy", The Railway Forum Seminar, The Carbon Trust
- McCorkle, D., Hanselka, D., Bean, B., McCollum, T., Amosson, S., Klose, S. and Waller, M. (2007) *The Economic Benefits of Liorage Sorghum Silage as an Alternative Food Crop*, Texas Cooperative Extension – The Texas A&M University System

- McCowan, B., Coughlin, T., Bergeron, P. and Epstein, G. (2002) 'High performance lighting options for school facilities', in American Council for Energy-Efficient Economy, *2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, American Council for an Energy Efficient-Economy, Washington, DC, pp253-268
- McDonough, W. and Braungart, M. (2002) *Cradle To Cradle : Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, San Francisco
- McKibben, B. (2006) 'Hype or hope : Is corporate do-goodery for real ?', *Mother Jones*, November – December
- McKibbin, W. J. and Wilcoxon, P. (1997) 'A better way to slow global climate change', *Brookings Policy Brief*, n° 17, Brookings Institution, Washington, DC
- McKinney, J. and Muench, T. (2008) "Regulation scoping paper : Alternative and renewable fuel and vehicle technology program", Draft staff paper – California Energy Commission, July
- McKinsey & Company (2007) *Curbing Global Energy Demand Growth : The Energy Productivity Opportunity*, McKinsey & Company
- McKinsey & Company (2008) "Revolutionizing data centre efficiency", presentation, Green Enterprise Computing : Capitalizing on Current Opportunities and Exploring Future Trends in Energy Efficiency, 27-30 April, Orlando, CA
- McKinsey Global Institute (2007) *Curbing Global Energy Demand Growth : The Energy Productivity Opportunity – Residential Sector*, McKinsey Global Institute
- McKinsey Global Institute (2008) *Fuelling Sustainable Development : The Energy Productivity Solution*, McKinsey Global Institute
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J. and Behrens, W. (1972) *The Limits to Growth : A Report to the Club of Rome*, Universe Books, New York
- Mendonca, M. (2008) *Feed-in Tariffs : Accelerating the Development of Renewable Energy*, Earthscan, London
- Merritt, F. S. and Ricketts, J. T. (2001) *Building Design and Construction Handbook*, 6th edition, McGraw-Hill, Maidenhead, Berkshire
- Meyer, M. and Cambridge Systematics Inc. (2008) *Crashes vs Congestion – What's the Cost to Society ?*, prepared for AAA, Cambridge Systematics Inc., Cambridge, MA
- Meyer, W. (1997) *Water for Food*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia
- Midleton, N. (2003) *The Global Casino : An Introduction to Global Issues*, Oxford University Press, Oxford
- Mills, E. (2000) *Global Lighting Energy Use and Greenhouse Gas Emissions*, Lawrence Berkeley Laboratories, Berkeley, CA
- Mills, E. (2005) "The specter of fuel-based lighting", *Science*, vol 308, pp1263-1264
- Mills, E. (2009) "Sustainable scientists", *Environmental Science & Technology*, vol 43, n° 4, pp979-985

- Mills, E., Shamshoian, G., Blazek, M., Naughton, P., Seese, R., Tschudi, W. and Sartor, D. (2007) 'The business case for energy management in high-tech industries', *Energy Efficiency*, vol 1, n° 1, pp5-20
- Minerals Council of Australia (2007) *Climate Change : A Global Challenge Requiring a Global Solution*, Minerals Council of Australia, Kingston, ACT
- Ministerial Council on Energy (2003) *National Appliance and Equipment Energy Efficiency Program : A Study of Office Equipment Operational Energy Use Issues*, Commonwealth of Australia
- Miranda, J. M., Fernández-Jiménez, A., González, J. A. and Palomo, A. (2005) 'Corrosion resistance in activated fly ash mortars', *Cement and Concrete Research*, vol 35, n° 6, pp1210-1217
- Mishan, E. J. (1967) *The Costs of Economic Growth*, Staples Press, London
- Mississippi State University (2007) 'Major poultry-producing countries', in *Economic Impact of the Mississippi Poultry Industry – 2007*, Mississippi State University, Cullis Wade Depot, MS
- Mobbs, M. (1999) *Sustainable House : Living for Our Future*, Choice Books, Sydney
- Mohanty, S. (2009) 'Food security and rural livelihood : What role for trade agreements ?', proceedings of 'Rice Science for a Better World'.
- Molden, D. (2007) *Water for Food, Water for Life : A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Earthscan, London
- Molden, D., Frenken, K., Barker, R., de Fraiture, C., Mati, B., Svendsen, M., Sadoff, C. and Pinlayson, C. M. (2007) "Trends in water and agricultural development", in Molden, D. (ed) *Water for Food, Water for Life*, International Water Management Institute, Earthscan, London
- Monbiot, G. (2007) *Heat : How to Stop the Planet Burning*, South End Press, Cambridge, MA
- Moore, J. R. (2003) "Swine production : A global perspective", Alltech UK – Proceedings of Alltech's 19th Annual Symposium, Lexington, Kentucky, 11-14 May 2003, USA
- Moore, T. C. (1996) "Ultralight hybrid vehicles : Principles and design", 13th International Electric Vehicle Symposium, October 1996, Osaka, Japan
- MSNBC (2009) 'Is Wal-Mart going green ? CEO vows to be "good steward for the environment" in announcing goals', *MSNBC.com. News*, 25 October
- Müller, N. and Harnisch, J. (2008) *A Blueprint for a Climate Friendly Cement Industry : How to Turn Around the Trend of Cement Related Emissions in the Developing World*, report prepared for the World Wild Fund for Nature – Lafarge Conservation Partnership, Ecofys Germany GmbH, Germany
- Muntingh, Y. (2006) "Durability and diffusive behaviour evaluation of geopolymeric material", MSc Thesis, University of Stellenbosch, South Africa

- Mygatt, E. (2005) *Bicycle Production Remains Strong Worldwide*, The Earth Policy Institute, Washington, DC
- Nakicenovic, N. and Swart, R. (eds) (2000) *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge
- National Bureau of Statistics of China (2007) *2007 China Statistical Yearbook*, National Bureau of Statistics of China, Beijing
- National Ready Mixed Concrete Association (2008) *Concrete CO₂ Factsheet*, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, MD
- National Transport Commission and Rare Consulting (2008) *Freight Transport in a Carbon Constrained Economy*, Discussion Paper, National Transport Commission, Melbourne, Australia
- Net Balance Foundation (2007) *Zeobond Carbon Emission Life Cycle Assessment of Geopolymer Concrete*, Net Balance Foundation, Melbourne, Australia
- Netherlands Environmental Assessment Agency (2007) *Global CO₂ Emissions*, Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven
- Newman, P. (1998) "Transport", Interview transcript from *Radio National Earthbeat*, 12 September
- Newman, P. (2001) "Transportation energy in global cities : Sustainable transportation comes in from the cold ?", *Natural Resources Forum*, vol 25, n° 2, pp91-107
- Newman, P. (2006) 'Sustainable transport for sustainable cities', *Issues*, n° 76, September, pp6-10
- Newman, P. and Kenworthy, J. (1999) *Sustainability and Cities : Overcoming Automobile Dependence*, Island Press, Washington, DC
- Newman, P. and Kenworthy, J. (2007) 'Transportation energy in global cities : Sustainability comes in from the cold', *Natural Resources Forum*, vol 25, n° 2, pp91-107
- Nowak, R. (2008) 'Hopes build for eco-concrete', *New Scientist*, 26 January
- NSW Health Department (2001) *Septic Tank and Collection Well Accreditation Guideline*, New South Wales State Government, Australia
- Nucor Corporation (2007) 'Nucor start up Trinidad DRI production', *Steelonthenet.com*, 16 January
- OECD (2003a) *Environmental Policy in the Steel Industry : Using Economic Instruments*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- OECD (2003b) *Environmentally Sustainable Buildings : Challenges and Policies*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- OECD (2008) *OECD Environmental Outlook to 2030*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- OECD (2009) *Society at a Glance 2009*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris

- Ogburn, M. (2007) "Profitable GHG reduction through fuel economy : Off-the-shelf technologies that bring savings to your bottom line", presentation to Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Ogburn, M. and Ramroth, L. (2007) *Truck Efficiency and GHG Reduction Opportunities in the Canadian Truck Fleet*, Executive Summary, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Ogburn, M., Ramroth, L. and Lovins, A. (2008) *Transformational Trucks : Determining the Energy Efficiency Limits of a Class-8 Tractor-Trailer*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Ohnsman, A. (2008) 'Toyota plans electric car, earlier Plug-In Prius test', *Bloomberg*, 28 August
- Okazaki, T., Nakamura, M. and Kotani, K. (2004) 'Voluntary initiatives of Japan's steel industry against global warming', paper presented at IPCC Industrial Expert Meeting (ITDT) in Tokyo, 21-23 September.
- Okuwaki, A. (2004) 'Feedstock recycling of plastics in Japan', *Polymer Degradation and Stabilization*, vol 85, pp981-988
- O'Neal, D. L., Rodriguez, A., Davis, M. and Kondepudi, S. (2002) "Return air leakage impact on air conditioner performance in humid climates", *Journal of Solar Energy Engineering*, vol 124, pp63-69
- Onsite SYCOM Energy Corporation (1999) *Review of Combined Heat and Power Technologies*, US Department of Energy, Washington DC
- Onsite SYCOM Energy Corporation (2000) *The Market and Technical Potential for Combined Heat and Power in the Industrial Sector*, prepared for Energy Information Association, Washington, DC
- Orsato, R. (2006) 'Competitive environmental strategies : When does it pay to be green ?', *California Management Review*, vol 48, n° 2, Winter
- The Pacific Institute (2007) *California Water – Success Stories*, The Pacific Institute, Seattle, WA
- Paevere, P. and Brown, S. (2008) *Indoor Environment Quality and Occupant Productivity in the CH2 Building : Post-Occupancy Summary*, Report no USP2007/23, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia
- Pearce, F. (2002) 'Green foundations', *New Scientist*, vol 175, pp39-40
- Pears, A. (1998) 'Energy-efficient, environmentally-preferable gas appliances for a sustainable world', presented at Australian Gas Association Annual Conference, Adelaide, November
- Pears, A. (2004a) *Energy Efficiency – Its Potential : Some Perspectives and Experiences*, Background paper for International Energy Agency Energy Efficiency Workshop, Paris, April 2004
- Pears, A. (2004b) *Greenhouse Challenge for Energy*, Report to Victorian Department of Infrastructure and Department of Sustainability and Environment, The Allen Consulting Group

- Pears, A. (2005) *Potential for Replacing Hazelwood with Alternatives, Particularly Energy Efficiency*, RMIT University, Melbourne, Australia
- Pears, A. (2008) Personal communication with Alan Pears, Sustainable Solutions, 15 November
- Pears, A. (2009) Personal communication with Alan Pears, Director, Sustainable Solutions, 6-15 May
- Penny, J. (2004) 'Commissioning controls for energy efficiency', *EcoLibruim*, July, pp21-24
- Peon, R., Doluweera, G., Platonova, I., Irvine-Halliday, D. and Irvine-Halliday, G. (2005) 'Solid state lighting for the developing world – The only solution', Optics & Photonics, Fifth International Conference on Solid State Lighting, San Diego, *Proceedings of SPIE*, vol 5941, pp109-123,
- PEP (2006) "European embedding of Passive Houses, energy saving potential", Working Paper (partially supported by the European Commission under the Intelligent Energy Europe Programme), Promotion of European Passive Houses
- Pereira, P. R. (1994) "New technologies – Opportunities and Threats", ch 13 in Sagasti, E, Salomon, J. J. and Sachs-Jeantet, C. (eds) *The Uncertain Quest : Science, Technology, and Development*, UNU Press, New York
- Petz, I. (2008) "Wind power holds visionary solutions for shipping", *Credit Suisse*, 29 September
- Pezzey, J. C. V. (2003) "Emission taxes and tradeable permits : A comparison of views on long-run efficiency", *Environmental and Resource Economics*, vol 26, n° 2, pp329-342
- Phillips, G. (2008) "Green Cement", *ABC Catalyst*, 22 May
- Pianoforte, K. (2008) 'Marine coatings market : Increasing fuel efficiency through the use of innovative antifouling coatings is a key issue for ship owners and operators', *Coatings World*, May
- Piebalgs, A. (2006) 'Energy efficiency : The best way towards a sustainable, competitive and secure energy system', speech delivered to the Round Table on Energy Efficiency in the Committee of Regions, Brussels, 7 December
- Pigou, A. C. (1920) *The Economics of Welfare*, Macmillan, London
- Pizer, W. A. (2002) 'Combining price and quantity controls to mitigate global climate change', *Journal of Public Economics*, vol 85, n° 3, pp409-434
- Plambeck, E. and Denend, L. (2007) *Wal-Mart's Sustainability Strategy*, Stanford University, Harvard Business Publishing
- Postel, S. (2001) "Growing more food with less water", *Scientific American*, vol 284, n° 2, pp46-50
- Postel, S., Polak, P., Gonzales, F. and Keller, J. (2001) "Drip irrigation for small farmers : A new initiative to alleviate hunger and poverty", *Water International*, vol 26, n° 1, p8

- Prakash, A. and Potoski, M. (2006a) "New dependencies : EDI and the cross-country diffusion of ISO 14001 management systems", presentation at the First Annual Conference on Institutional Mechanisms for Industry Self-Regulation, Tuck School of Business, Dartmouth College, February 24-25
- Prakash, A. and Potoski, M. (2006b) 'Racing to the bottom ? Trade, environmental governance, and ISO 14001', *American Journal of Political Science*, vol 50, n° 2, pp350-364, Midwest Political Science Association
- Prather, M. and Hsu, J. (2008) 'NF3, the greenhouse gas missing from Kyoto', *Geophysical Research Letters*, vol 35
- Price, L. (2006) 'Prospects for efficiency improvements in China's cement sector', Sector Cement Energy Efficiency Workshop organized by IEA in cooperation with WBCSD, Paris, 4-5 September
- Price, L., Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Worrell, E. and Ecofys (2006) 'Global energy use, CO₂ emissions and the potential for reduction in the cement industry', proceedings of IEA Conference, 'Energy Efficiency and CO₂ Emission Reduction Potentials and Policies in the Cement Industry', 4-5 September, Paris
- Princen, T. and Finger, M. (1994) *Environmental NGOs in World Politics : Linking the Local and the Global*, Routledge, London
- Provis, J. and van Deventer, J. (eds) (2009) *Geopolymers : Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*, University of Melbourne, Australia, Woodhead Publishing Limited, Abington, Cambridge
- Qun, Z. (2007) *Talk about the Chinese Iron and Steel Industry Development and Environment Protection*, Beijing University of Science and Technology, Beijing
- Raina, S. (2002) *Energy Efficiency Improvements in Indian Cement Industry*, IIPEC, Report from the Director General of the National Council for Cement and Building Materials (NCB) to the IIPEC Programme, 22 September
- Ramanathan, V. and Carmichael, G. (2008) 'Global and regional climate changes due to black carbon', *Nature Geoscience*, 23 March, pp221-222
- Reich, D., Goodin, R. and Broner, I. (2009) 'Micro-sprinkler irrigation for orchards', Fact Sheet no. 4.703, Colorado State University, Fort Collins, CO
- Reinhart, C. F. (2002) 'Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices', ACEEE 2002 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, pp309-322
- REN21 (2005) *Renewables : 2005 Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network, Worldwatch Institute, Washington, DC
- Reuters (2008) "Factbox : Aviation in the EU Emissions Trading Scheme", Reuters, 24 October
- Richardson, E. and Newman, P. (2008) *Transport for Sustainable Cities*, Sinclair Knight Merz and Curtin University

- Richter, S. (2004) 'Buying biodiesel "off the rack" : CHS investing in new injection technology to streamline biodiesel blending process', *Rural Cooperatives*, 1 July, Special Section : 'Co-ops and Biofuels'
- Riedy, C., Milne, G. and Reardon, C. (2008) *Technical Manual : Design for Lifestyle and the Future*, Commonwealth of Australia
- Rijsberman, F. (2004) *The Water Challenge : The Copenhagen Consensus Challenge Paper*, International Water Management Institute, Battaramulla, Sri Lanka
- Robert Bosch GmbH (2004) *Automotive Handbook*, Robert Bosch GmbH, Warrendale, PA
- Robins, N., Clover, R. and Singh, C. (2009) *A Climate for Recovery – The Colour of Stimulus Goes Green*, HSBC Global Research, London
- Rocky Mountain Institute (2004) "#5 Water Heating", *RMI Home Energy Briefs*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Rocky Mountain Institute (2007) "Household Energy Efficiency", *RMI Home Energy Briefs*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Rocky Mountain Institute (2008) *Smart Garage Charrette Report*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Rocky Mountain Institute, Wilson, A., Seal, J., McManigal, L., Lovins, L. H., Cureton, M. and Browning, W. (1998) *Green Development : Integrating Ecology and Real Estate*, John Wiley & Sons Inc., Malden, MA
- Roland-Holst, D. (2008) 'Energy efficiency, innovation, and job creation in California', *Research Papers on Energy, Resources, and Economic Sustainability*, University of California, Berkeley, CA
- Romm, J. (1994) *Lean and Clean Management : How to Boost Profits and Productivity by Reducing Pollution*, Kodansha Amer Inc., New York
- Romm, J. J. and Browning, W. D. (1998) *Greening the Building and the Bottom Line : Increasing Productivity Through Energy-Efficient Design*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO
- Roth, K., Goldstein, F. and Leinman, J. (2002) *Energy Consumption by Office and Telecommunications Equipment in Commercial Buildings, Volume 1 : Energy Consumption Baseline*, Arthur D. Little, Cambridge, MA
- Rubin, J. (2007) *The Efficiency Paradox*, CIBC World Markets, Toronto and New York
- Rubin, R. and Tal, B. (2007) 'Does energy efficiency save energy ?', in Rubin, I. (ed) *The Efficiency Paradox*, CIBC World Markets, Toronto and New York, pp4-7
- Rubinstein, F. and Johnson, S. (1998) *Advanced Lighting Program Development*, Final Report, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA
- Safe Drinking Water Foundation (2004) *Water Consumption*, Safe Drinking Water Foundation, Saskatoon, Canada
- Saunders, H. D. (1992) "The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth", *The Energy Journal*, 1 October

- Schaeffer, J., Pratt, D. and Real Good Staff (1996) *Real Goods Solar Living Source Book : The Complete Guide to Renewable Energy Technologies and Sustainable Living*, 9th edition, Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, VT
- Schlegelmilch, K. (ed) (1999) *Green Budget Reform in Europe*, Springer, Berlin
- Schmidheiny, S. and the Business Council for Sustainable Development (1992) *Changing Course : A Global Business Perspective on Development and the Environment*, MIT Press, Cambridge MA
- Schnepf, R. (2004) *CRS Report for Congress : Energy Use in Agriculture*, CRS, The Library of Congress, p2
- Schnieders, J. (2003) 'CEPHEUS – Measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses', Results of ECEEE 2003 Summer Study, Passive House Institute, Darmstadt
- Schurr, S. (1985) 'Energy conservation and productivity growth – Can we have both', *Energy Policy*, vol 13, n° 2, pp126-132
- Schwartzapfel, S. (2008) 'Plug-in hybrids aren't coming – They're here', *Wired*, 5 October
- Scialabba, N. H. and Hattam, C. (eds) (2002) *Organic Agriculture, Environment and Food Security*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Science Daily (2008) 'Cow power could generate electricity for millions', *Science Daily – Science News*, 25 July
- Shaheen, S. and Cohen, A. (2006) *Worldwide Carsharing Growth : An International Comparison*, submitted to Transportation Research Board
- Shaheen, S. and Meyn, M. (2002) 'Shared-use vehicle services : A survey of North American market developments', presented at the ITS World Congress, October 14-17, Chicago, IL
- Sheppard, K. (2009) 'Obama lays down plans for high-speed rail', *Grist*, 16 April
- Sherman, M. H. and Jump, D. A. (1997) "Thermal energy conservation in buildings", in *CRC Handbook of Energy Efficiency*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp269-303
- Shi, C., Krivenko, P. V. and Roy, D. M. (2006) *Alkali-Activated Cements and Concretes*, Taylor and Francis, Abingdon
- Shirley, W. (2006) *Decoupling Utility Profits from Sales*, prepared for Arizona Decoupling Stakeholder Meeting, Regulatory Assistance Project (RAP)
- Shock, C. C. (2006) *Drip Irrigation : An Introduction*, Malheur Experimentation Station – Information for Sustainable Agriculture, Oregon State University, Corvallis, OR
- Shrank, D. L. and Lornaz, T. J. (2007) *The 2007 Urban Mobility Report – What Does Congestion Cost Us ?*, Texas Transportation Institute, Texas A & M University, College Station, TX

- Sinden, G. (2005) *Variability of Wave and Tidal Stream Energy Resources*, Oxford University Environmental Change Institute
- Sinha, R., Cross, A., Graubard, B., Leitzmann, M. and Schatzkin, A. (2009) "Meat intake and mortality : A prospective study of over half a million people", *Archives of Internal Medicine*, vol 169, n° 6, pp562-571
- Sloman, L. (2006) *Car Sick – Solutions for Our Car Addicted Culture*, Green Books, Totnes, Devon
- Smith, M. and Hargroves, K. (2009) 'Achieving both economic growth and reduced environmental pressures in the current financial climate', *CSIRO ECOS*, n° 148, pp30-31
- Smith, M. and Hargroves, K. (2010) *Cents and Sustainability : Decoupling Economic Growth from Environmental Pressures* The Natural Edge Project, Earthscan, London, www.naturaledgeproject.net/centsandsustainability.aspx, accessed 10 June 2009
- Smith, M., Hargroves, K., Stasinopoulos, P., Stephens, R., Desha, C. and Hargroves, S. (2007) *Energy Transformed : Sustainable Energy Solutions for Climate Change Mitigation*, The Natural Edge Project (TNEP), Australia
- Smith, S. (1995) *'Green' Taxes and Charges : Policy and Practice in Britain and Germany*, The Institute for Fiscal Studies, London
- Smith, S. (2008) *Environmentally Related Taxes and Tradable Permit Systems in Practice*, OECD paper COM/ENV/EPOC/CTPA/CPA (2007) 31/Final, 11 June
- Spangenberg, J. H. (2009) 'The multi-bubble-trouble', *Global Responsibility*, vol 59, pp5-7
- Srinivas, S. (undated) 'Green buildings : The opportunities and benefits', Confederation of Indian Industry, Sohrabji Godrej Green Business Centre
- Stasinopoulos, P., Smith, M., Hargroves, K. and Desha, C. (2003) *Whole System Design : An Integrated Approach to Sustainable Engineering*, Earthscan, London, and The Natural Edge Project, Australia
- State of California (2005) *Design Guide : Big Savings on Small HVAC Systems*, Public Interest Energy Research Program, State of California Energy Commission
- Stavins, R. N. (1998) "What can we learn from the grand policy experiment ? Lessons from SO2 allowance trading", *Journal of Economic Perspectives*, vol 12, n° 3, pp69-88
- Steinfeld, H., de Haan, C. and Blackburn, H. (1998) 'Livestock and the environment : Issues and options', in Lutz, E. (ed) *Agriculture and the Environment : Perspectives on Sustainable Rural Development*, World Bank, Washington, DC, pp283-301
- Stephens, R., Desha, C. and Hargroves, K. (2007) 'The philosophy and practice of water sensitive urban design – Is it consistent with a whole system approach ?', *Environmental Design Guide*, August, vol 1, GEN 14

- Stern, N. (2007) *The Stern Review : The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge
- Stiglitz, J. (2002) *Globalization and Its Discontents*, Norton & Norton, New York
- Stiglitz, J. (2006) *Making Globalization Work*, Penguin Books, London
- Stockholm STAD (2006) *Evaluation of the Effects of the Stockholm Trial on Road Traffic*, Stockholm STAD, Sweden
- Stodolsky, F. (2002) *Analysis of Technology Options to Reduce Truck Idling*, Argonne National Laboratory, Argonne, IL
- Stodolsky, E, Gaines, L. and Vyas, A. (2002) *Railroad and Locomotive Technology Roadmap*, Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL
- Strieber, A. (2008) 'Volt price watch : Plug-in hybrid now said to cost \$40k', *MotorTrend Magazine*, 19 June
- Stubbles, J. (2000) *Energy Use in the U.S. Steel Industry*, US Department of Energy, Washington, DC
- Sublet, S. (2009) "Does your farm have the operational capability to produce carbon credits ?", *Ag Nutrient Management*, Progressive Dairy Publishing
- Sumikura, I. (1998) 'A brief history of Japanese environmental administration : A qualified success story ?', *Journal of Environmental Law*, vol 10, pp241-256
- Summers, L. (2007) 'Practical steps to climate control', *Financial Times*, 29 May
- Sustainability Victoria (2006) *HVAC Tips (Heating, Ventilation and Air Conditioning)*, Sustainability Victoria
- Sustainability Victoria (2008) *Case Study 04 : 40 Albert Road – Sustainability Meets Sophistication*, Commercial Office Building Energy Innovation Initiative (COBEII)
- Suzuki, D. and Gordon, A. (1991) *It's a Matter of Survival*, Harvard University Press, Cambridge, MA
- Suzuki, D., McConnell, A. and Mason, A. (2007) *The Sacred Balance*, Douglas McIntyre, Vancouver
- Sydney Morning Herald (2007) 'Spending our way to climate change', *Sydney Morning Herald*, 18 August
- Sydney Water (2007) *Water Conservation : Best Practice Guidelines for Cooling Towers in Commercial Buildings*, Sydney Water
- Taylor, D., Sulaiman, M. and Sheahan, M. (2001) "Auditing of environmental management systems : A legitimacy theory perspective", *Managerial Auditing Journal*, vol 16, no 7, Emerald Press
- Taylor, M. (2008) 'City's two-wheel transformation', *The Guardian*, 9 February
- Taylor, P. W. (2008) *Simply Green : A Few Steps in the Right Direction toward Integrating Sustainability into Public Sector IT*, Centre for Digital Government, eRepublic, Inc.

- Terhark, C. (2005) "The good ship", *Utne*, July – August, pp88-89
- Tesco (2008) *Sustainability Report : More than the Weekly Shop : Corporate Responsibility Review*, Tesco Inc.
- Thomson, E. (2006) "Engineers forge greener path to iron production", *MIT News*, 25 August
- Tickell, O. (2005) 'Wave, wind, sun and tide is a powerful mix', *The Guardian*, 12 May
- Todesco, G. (2004) 'Integrated design and HVAC equipment sizing', *ASHRAE Journal*, vol 46, n° 9, pp542-547
- Transek (2006) *Cost-Benefit Analysis of the Stockholm Trial*, Transek AB, Sweden
- Traum, M. (2007) "China's Pearl River Tower may be World's first zero-energy skyscraper", *Design News China*, 17 September
- Troy, P. (2008) *Troubled Waters : Confronting the Water Crisis in Australia's Cities*, Australian National University EPress
- Trubka, R., Newman, P. and Bilsborough, D. (2008) *Assessing the Costs of Alternative Development Paths in Australian Cities*, Curtin University Sustainability Policy Institute and Parsons Brinkerhoff, Fremantle
- UK Carbon Trust (2006) *Agriculture and Horticulture – Introducing Energy Saving Opportunities for Farmers and Growers*, UK Carbon Trust
- UNDP/WEC/UNDESA (2000) *World Energy Assessment*, United Nations Development Programme, New York
- UNEP (2002) "Sustainable consumption and production", presentation to the 2002 World Summit in Sustainable Development, Johannesburg, 26 August to 4 September
- UNEP/GRID-Arendal (2004) "Recycling rates for selected OECD countries", *Vital Waste Graphics*
- UNESCO (2000) *Water Use in the World : Present Situation/Future Needs*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- United Nations Food and Agriculture Organization (2006) *Livestock's Long Shadow*, FAO, Rome
- United Nations World Water Development Report (UNWWDR) (2003) *Water for People, Water for Life*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris
- University of California (2008) "Black carbon pollution emerges as major player in global warming", *PHYSORG.com*, 23 March
- US Department of Commerce (2000) *Global Steel Trade : Structural Problems and Future Solutions*, Report to the President, US Department of Commerce, International Trade Administration
- US Department of Energy (USDOE/OSTI) (2000) *Technology Roadmap for the 21st Century Truck Program*, US Department of Energy, 21CT-01

- US Environmental Protection Agency (2007) *Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors : Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes*, Final Report, Prepared for the US Environmental Protection Agency
- US Environmental Protection Agency (2009a) *Draft Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks : 1990-2007*, US EPA
- US Environmental Protection Agency (2009b) *Guide to Anaerobic Digesters*, US EPA
- US General Services Administration (GSA) (1999) *The Integrated Workplace : A Comprehensive Approach to Developing Workspace*, US General Service Administration, Office of Government-wide Policy and Office for Real Property
- USDA (2007) *International Agricultural Baseline Projections to 2007*, United States Department of Agriculture
- USGS (2005) *Minerals Yearbook 2004*, US Geological Survey, Reston, VA
- USGS (2006) *Minerals Yearbook*, US Geological Survey, Reston, VA
- Van Hofwegen, P. and Svendsen, M. (2000) *A Vision of Water for Food and Rural Development*, The Netherlands : The World Water Forum, The Hague
- Vandenbergh, M. (2007) *The New Wal-Mart Effect : The Role of Private Contracting in Global Governance*, Vanderbilt University Law School, Nashville, TN
- Vattenfall AB (2007) *Global Mapping of Greenhouse Gas Abatement Opportunities up to 2030 : Industry Sector Deep-Dive*, Vattenfall AB, Stockholm, Sweden
- Virginia Tech (2007) "Hardy rice : Less Water, more food", *Science Daily*, 11 September
- von Weizsäcker, E. and Jesinghaus, J. (1992) *Ecological Tax Reform : A Policy Proposal for Sustainable Development*, Zed Books, London
- von Weizsäcker, E., Lovins, A. B. and Lovins, L. H. (1997) *Factor 4 : Doubling Wealth, Halving Resource Use*, Earthscan, London
- von Weizsäcker, E. U., Young, O. and Finger, M. (2005) *Limits to Privatization : How to Avoid Too Much of a Good Thing ?*, Earthscan, London
- von Weizsäcker, J. (2009) "Greening the debt", Op-Ed Contributor, *International Herald Tribune*, 15 April
- Waide, P., Lebot, B. and Harrington, P. (2004) "The historic and potential impact of residential electrical equipment energy efficiency policies in the OECD", in proceedings of the EEDAL'03 conference, Softech, Turin, Italy, 1-3 October
- Walton, T. (2008) "Jaguar XJ-X350", *Jaguar XJ News*, 28 July
- Wang, I. (2008) 'The energy management and emission control with Chinese cement industry', China Building Materials Academy, presentation to the "Cleaning up China's Cement Sector" session in the China Environment Forum, Washington, DC, 15 May
- Wara, M. (2007) "Is the global carbon market working ?", *Nature*, vol 445, pp595-596

- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. and Dokken, D. J. (2000) *Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, p204
- Watts, J. (2009) "China to plough extra 20% into agricultural production amid fears that climate change will spark food crisis", *Guardian.co.uk*, 5 March
- Webber, M. et Cuellar, A. (2008) "Cow power : The energy and emissions benefits of converting manure to biogas", *Environmental Research Letters*, vol 3
- Went, A., Newman, P. et James, W. (2008) 'Renewable transport : How renewable energy and electric vehicles using vehicle to grid technology can make carbon free urban development', Discussion Paper, Curtin University Sustainability Policy Institute, Fremantle, Australia
- Whole Building Design Guide Productive Committee (2007) *Productive*, National Institute of Building Sciences, Washington, DC
- Whole Foods Market (2008) *Whole Foods Market 2008 Annual Report*, Whole Foods Market, US
- Whyte, B. (2007) "HARDY rice : Less water, more food", *Bio-Medicine*, 9 October
- Wigginton, M. and Harris, J. (2002) *Intelligent Skins*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp143-148
- Wilentz, S. (2008) *The Age of Reagan : A History, 1974-2008*, HarperCollins, London
- Williams, C. A. and Aguilera, R. V. (2008) 'Corporate social responsibility in a comparative perspective', in Crane, A., McWilliams, A., Matten, D., Moon, L. and Siegel, D. S. (eds) *The Oxford Handbook of Corporate Social Responsibility*, Oxford University Press, Oxford
- Wong, A. (1999) *Sustainable Use of Water California Success Stories : Executive Summary/Introduction*, The Pacific Institute, Seattle, WA
- Wood, R. M. et Bauer, S. X. S. (2003) *Simple and Low-Cost Aerodynamic Drag Reduction Devices for Tractor-Trailer Trucks*, SOLUS – Solutions and Technologies International, Virginia Beach, Virginie (États-Unis)
- Woolsey, R. (2005) *High Cost of Crude : The New Currency of Foreign Policy*, Testimony of R. James Woolsey, US Senate Committee on Foreign Relations
- Workman, D. (2007) "Top soybean countries", *Suite101.com*, 17 September
- World Bank (1997) *At China's Table : Food Security Options*, China 2020 Series, World Bank, Washington DC
- World Business Council for Sustainable Development (2004) *Mobility 2030 Report : Meeting the Challenges to Sustainability*, WBCSD, Geneva, Switzerland
- World Business Council for Sustainable Development (2009) *Energy Efficiency in Buildings : Business Realities and Opportunities – Facts and Trends*, Summary Report, WBCSD, Geneva, Switzerland

- World Future Council (2008) *Feed-in Tariffs : Boosting Energy for Our Future*, World Energy Council, Hamburg
- World Health Organization (2004) *Global Burden of Disease, Update 2004*, WHO, Geneva, Switzerland
- World Steel Association (2008) *2008 Sustainability Report of the World Steel Industry*, World Steel Association, Brussels
- World Wild Fund for Nature (2009) *Virtual Meetings and Climate Innovation in the 21 st Century*, World Wild Fund for Nature
- Worldwatch Institute (2008) *Vital Signs 2007-2008*, Worldwatch Institute, W.W. Norton & Company, New York
- Worldwatch Institute (2009) *Worldwatch Report : Mitigating Climate Change Through Food and Land Use*, Worldwatch Institute, Washington, DC
- Worrell, E. (2004) 'Industrial energy use – Past developments and future potential', presentation at EEWP Expert Workshop International Energy Agency, 26-27 April, Paris
- Worrell, E., Martin, N. and Price, L. (1999) *Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the US Iron and Steel Sector*, Environmental Energy technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CO
- Worrell, E., Price, L. and Galitsky, C. (2004) *Emerging Energy-efficient Technologies in Industry : Case Studies of Selected Technologies*, Ernest Orlando Lawrence Berkely National Laboratory, Berkeley, CA
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C. and Meida, L. (2001) 'Carbon dioxide emissions from the global cement industry', *Annual Review of Energy and the Environment*, vol 26, pp303-329
- Xia, J., Wang, J., Wang, Y. and Xing, R. (2008) "Stakeholder pressures and the global diffusion of the ISO 14001 initiative : A resource dependence perspective", *International Journal of Sustainable Society*, vol 1, n° 1, pp4-28
- Xinhua News Agency (2008) "China announces huge rail investment", *Xinhua News Agency*, 27 October
- Xu, H., Provis, J. L., van Deventer, J. and Krivenko, P. V. (2008) 'Characterization of aged slag concretes', *ACI Materials Journal*, March/April
- Yamaguchi (2005) "Factors that affect innovation, deployment and diffusion of energy-efficient technologies – Case studies of Japan and iron/steel industry", in-session workshop on Mitigation at SBSTA22 (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, 22nd session), 23 May
- Yong, S. L., Feng, D. W., Lukey, G. C. and van Deventer, J. S. J. (2007) "Chemical characterisation of the steel-geopolymeric gel interface", *Colloids and Surfaces A – Physicochemical and Engineering Aspects*, vol 302, n°s 1-3, pp411-423

- Yoong, Y. (2008) "Pusat Tenaga Malaysia's zero energy office", Malaysia Building Integrated Photovoltaic (MBIPV) Technology Application Project
- Zhou, N. (2007) *Energy Use in China : Sectoral Trends and Future Outlook*, Energy Analysis Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA
- Zhou, N., McNeil, M.A., Fridley, D., Jiang, L., Price, L., de la Rue du Can, S., Sathaye, J. and Levine, M. (2008) "Energy use in China : Sectoral trends and future outlook", Paper LBNL-61904, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA
- Zhu, Y. (2008) *Sectoral Study on the Iron and Steel Industry*, Interdependencies on Energy and Climate Security Environment Energy and Development Programme, Chatham House, London
- Ziebek, A. and Stanek, W. (2001) "Forecasting of the energy effects of injecting plastic wastes into the blast furnace in comparison with other auxiliary fuels", *Energy*, vol 26, pp1159-1173
- Zimmer, D. and Renault, D. (2006) *Virtual Water in Food Production and Global Trade – Review of Methodological Issues and Preliminary Results*, FAO Water, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome
- Zongrin, Li., Ding, Z. and Shang, Y. (2004) "Development of sustainable cementitious materials", proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technologies, 20-21 May, Beijing, China, pp55-76

Table des matières

Recommandations	5
Citations des mécènes	12
Préface	15
À propos des auteurs	21
Remerciements	25
Sigles et abréviations	29
Introduction : l'impératif planétaire	33
À la croisée des chemins	33
Trouver un équilibre entre aspirations économiques et impératifs écologiques	36
Un New Deal écologique mondial	41
Les cycles de Kondratiev	45
Le nouveau cycle sera vert	46
De la productivité du travail à la productivité des ressources	50
Un décollage rapide mais sans à-coups	53

Partie 1

Une approche système-complet pour gagner un Facteur Cinq	55
Préface aux études sectorielles	57
1 Un cadre pour gagner un Facteur Cinq	63
Bâtir sur <i>Facteur Quatre</i>	63
Une approche système-complet pour la productivité des ressources	69
<i>Efficacité énergétique</i>	74
<i>Substitution énergétique</i>	76
<i>Récupération de chaleur et d'énergie</i>	78
<i>Énergies renouvelables</i>	82
<i>Substitution des matières premières (lien fort entre consommation de matériaux et d'énergie)</i>	86

<i>Substitution des produits</i>	90
<i>Améliorer l'efficacité des matériaux (lien fort entre consommation d'eau et d'énergie)</i>	92
<i>Réduction des gaz à effet de serre autres que le CO₂</i>	96
Un aperçu des études sectorielles	98
<i>Le secteur du bâtiment</i>	98
<i>Le secteur de l'industrie lourde</i>	99
<i>Le secteur agricole</i>	101
<i>Le secteur agroalimentaire et de la restauration (étude sectorielle Internet)</i>	102
<i>Le secteur des transports</i>	105
2 Le secteur du bâtiment	109
Le secteur des bâtiments résidentiels	109
<i>Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources dans les bâtiments résidentiels</i>	109
<i>Une approche intégrée pour réduire la consommation d'énergie</i>	109
<i>Étude de cas de meilleure pratique – La « Maison Passive » allemande</i>	113
<i>Une approche système-complet pour gagner un Facteur Cinq dans les bâtiments résidentiels</i>	120
<i>Stratégie 1 du GIEC : les pistes d'amélioration de l'efficacité énergétique</i>	120
<i>Stratégie 7 du GIEC : l'efficacité des matériaux – l'eau</i>	137
<i>Gagner un Facteur Cinq dans les logements des pays en voie de développement</i>	140
Le secteur des bâtiments tertiaires	146
<i>Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources dans les bâtiments tertiaires</i>	146
<i>Une approche intégrée pour réduire la consommation d'énergie</i>	147
<i>Gagner un Facteur Cinq dans les bâtiments tertiaires typiques</i>	155
<i>Étude de cas de meilleure pratique – Construire des bâtiments neufs</i>	157
<i>Pearl River Tower – Chine</i>	158
<i>Magasins discount Wal-Mart</i>	159
<i>Council House II – Australie</i>	161
<i>D'autres exemples de construction de bâtiments neufs à travers le monde</i>	163
<i>Études de cas de meilleure pratique – Rénover et remettre à neuf des bâtiments</i>	166
<i>Immeuble 60L, Australie</i>	167
<i>Projet Tune-Up, Inde</i>	169
<i>Saunders Hotel Group, États-Unis</i>	170
<i>D'autres exemples de rénovation à travers le monde</i>	171
<i>Une approche système-complet pour gagner un Facteur Cinq dans les bâtiments tertiaires</i>	171
<i>Stratégie 1 du GIEC : les pistes d'amélioration de l'efficacité énergétique</i>	171
<i>Éclairage intérieur</i>	181
<i>Lumière naturelle</i>	184
<i>Matériel de bureau</i>	186
<i>Stratégie 7 du GIEC : l'efficacité des matériaux – l'eau</i>	190

3 Le secteur de l'industrie lourde (acier et ciment)	195
L'industrie de l'acier	195
<i>Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources dans la production d'acier</i>	195
<i>Étude de cas de meilleure pratique – Nucor Corporation</i>	201
<i>Une approche système-complet pour gagner un Facteur Cinq dans l'industrie sidérurgique</i>	203
Stratégie 1 du GIEC : les pistes d'amélioration de l'efficacité énergétique	203
Stratégie 2 du GIEC : la substitution énergétique	206
Stratégie 3 du GIEC : la récupération de chaleur et d'énergie	207
Stratégie 4 du GIEC : les énergies renouvelables	207
Stratégie 5 du GIEC : la substitution des matières premières	208
Stratégie 7 du GIEC : l'efficacité des matériaux – l'eau	210
L'industrie du ciment	210
<i>Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité des ressources dans la fabrication du ciment</i>	210
<i>Étude de cas de meilleure pratique – Zeobond (ciment de silicate d'alumine)</i>	220
<i>Une approche système-complet pour améliorer la productivité des ressources de la fabrication de ciment</i>	224
Stratégie 1 du GIEC : les pistes d'amélioration de l'efficacité énergétique (installations existantes)	225
Stratégie 2 du GIEC : la substitution énergétique	229
Stratégie 3 du GIEC : la récupération de chaleur et d'énergie	230
Stratégie 5 du GIEC : la substitution des matières premières	231
Stratégie 7 du GIEC : l'efficacité des matériaux (eau et matières premières)	231
4 Le secteur agricole	233
Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité de l'énergie dans l'agriculture	234
<i>Une approche système-complet pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité de l'énergie dans l'agriculture</i>	236
Stratégie 1 du GIEC : les pistes d'amélioration de l'efficacité énergétique	237
Stratégie 2 du GIEC : la substitution énergétique	237
Stratégie 4 du GIEC : les énergies renouvelables	242
Stratégie 7 du GIEC : l'efficacité des matériaux	244
Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité de l'eau dans l'agriculture	246
<i>Une approche système-complet pour améliorer d'un Facteur Cinq la productivité de l'eau dans l'agriculture</i>	249
Choisir des espèces cultivées ou élevées qui soient adaptées	252
Étude de cas : l'irrigation en goutte à goutte à un prix abordable	257
Piloter l'irrigation	259
Une gestion avancée de l'irrigation (micro-irrigation déficitaire)	260
Étude de cas : l'assèchement partiel des zones racinaires	260
Capturer les eaux de pluie	261
Retraiter et réutiliser les eaux pluviales et usées des villes pour l'agriculture périurbaine	262

5 Le secteur des transports	265
Introduction	265
Voitures et autres véhicules légers	269
<i>Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq l'efficacité énergétique des voitures et des autres véhicules légers</i>	269
<i>Étude de cas de meilleure pratique – L'Hypercar Revolution</i>	283
<i>Décourager l'utilisation des voitures</i>	288
Des villes orientées transports	288
Restreindre l'utilisation des voitures et rendre payante la participation aux bouchons	292
Investir dans les transports collectifs et les autres modes de transport	295
Mieux concevoir les transports publics : un coup de projecteur sur le rail	298
Camions et semi-remorques	300
<i>Le potentiel pour améliorer d'un Facteur Cinq l'efficacité énergétique du transport routier de marchandises</i>	300
Le rendement des véhicules – Réduire la résistance au roulement	303
Le rendement des véhicules – Améliorer les performances aérodynamiques	304
Le rendement des moteurs – Réduire les pertes moteur	306
Le rendement des moteurs – Alternatives au moteur à combustion interne	311
Améliorations opérationnelles et logistiques	314
<i>Études de cas de meilleures pratiques</i>	316
Rénovation par Wal-Mart de son parc de camions (États-Unis)	316
Expansion du parc de véhicules électriques d'UPS	317
Produire plus de camions innovants pour l'industrie	318
<i>Alternatives aux camions pour transporter des marchandises</i>	319
Comparaison des modes de transport de marchandises	319
Améliorer la productivité de l'énergie dans le secteur du rail	324
Améliorer la productivité de l'énergie dans le secteur du transport maritime	329
Étude sectorielle : le transport aérien	332
<i>Améliorer la productivité de l'énergie dans le secteur aérien</i>	332
<i>Éviter les voyages en avion grâce à la vidéoconférence</i>	336
<i>Alternatives au transport aérien : les trains à grande vitesse</i>	338

Partie 2

Faire du développement durable une réalité 343

Introduction 345

6 Réglementation : La main visible	347
Lutte contre la pollution : histoire d'un succès de l'intervention de l'État	347
Réglementer l'efficacité énergétique	350
Décourager, voire interdire les technologies qui gaspillent	353
Purifier et réutiliser l'eau	355
Marchés publics	356
La société cyclique : la forme moderne de législation sur les déchets	356
L'indispensable changement de paradigme exigera plus que des lois	358

7 Outils économiques pour l'environnement, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables	359
Des engagements volontaires	359
Outils économiques pour l'environnement	365
Le commerce du carbone – le système communautaire d'échange de quotas d'émissions en Europe	369
Aller plus loin que le SCEQE, et agir à l'échelle mondiale	372
Écotaxes sur l'énergie	376
Donner un prix à l'eau	379
Les prix d'achat garantis des énergies renouvelables	381
Mise en perspective	383
8 Résoudre le dilemme de l'effet rebond	385
Introduction	385
Le postulat de Khazzoom – Brookes	386
La révolution industrielle et la révolution néolithique	392
Surmonter l'effet rebond	395
9 Une réforme fiscale écologique à long terme	399
Introduction	399
Deux siècles de baisse du prix des ressources	402
Le concept d'une réforme à long terme de l'écotaxe	405
Histoire des taxes sur l'énergie	407
Surmonter le dilemme des outils à court terme	408
Les pauvres, les ouvriers, les investisseurs et les conservateurs fiscaux	410
Le paradigme d'une multiplication par 20 de la productivité du travail	413
Comment cela pourrait-il fonctionner dans une économie de marché ?	416
10 Trouver un équilibre entre intérêt public et intérêts privés	423
Pour gagner un Facteur Cinq, il faut un État fort	423
Pourquoi le communisme s'est effondré	425
Triumphalisme du marché	431
Des règles mondiales et une société civile peuvent contribuer à défendre l'intérêt public	434
11 Quantité suffisante dans un monde civilisé	437
Introduction	437
Mesurer le bonheur	441
Satisfaction au sein de groupes humains solides	444
<i>L'avis de Mary Clark sur la notion de satisfaction individuelle</i>	445
Reconsidérer les concepts de temps, d'emploi et de croissance	449
Index	451
Bibliographie	461
Table des matières	499

UN RAPPORT DU CLUB DE ROME

Relancer et transformer l'économie en rendant les ressources 5 fois plus productives!

Changement climatique, croissance économique en berne, voire inexistante, ressources planétaires toujours plus chères et difficiles d'accès, droit pour tous les hommes à un niveau de vie correct : tels sont les **défis de ce siècle**.

Pour les relever, le monde doit produire biens et services en consommant beaucoup moins de ressources. **Rendre les ressources 5 fois plus productives, c'est possible, rapidement, et c'est rentable** ! Les technologies existent déjà, il suffit de les utiliser : c'est ce que démontrent les auteurs de *Facteur 5* dans la première partie de ce livre, en illustrant leur propos par des dizaines d'**exemples concrets d'amélioration de la productivité des ressources, pris dans des secteurs économiques très variés** : bâtiments, industrie, agriculture, agro-alimentaire et restauration, transports, technologies de l'information.

La seconde partie de l'ouvrage prolonge la réflexion et étudie les **aspects politiques, économiques et éthiques de cet objectif visionnaire**. Ses **propositions novatrices** montrent comment inciter entreprises et consommateurs à adopter des **technologies beaucoup plus économes** en eau, en énergie, en matériaux, et quel rôle États et institutions publiques peuvent jouer pour répondre au mieux à ces **défis majeurs**.

L'ouvrage s'adresse à un **public très varié de décideurs** (responsables politiques, managers d'entreprises, experts internationaux, etc.) impliqués de près ou de loin dans des questions de stratégie de développement durable, **aux ingénieurs, chercheurs, enseignants et étudiants**.

Ernst von Weizsäcker est président du Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, l'une des organisations écologiques les plus réputées en Allemagne, et co-président de l'International Panel on Sustainable Resource Management. Il est aussi l'auteur principal de *Factor Four* (Earthscan, 1998).

Karlson Hargroves, Michael H. Smith, Cheryl Desha et Peter Stasinopoulos codirigent *The Natural Edge Project*, un groupe de recherche australien axé sur l'ingénierie et la durabilité, soutenu par l'Université Griffith et l'Université Nationale Australienne (ANU). Chercheurs et enseignants dans ces domaines au sein de ces universités, ils ont également écrit plusieurs autres ouvrages de référence en langue anglaise, comme *The Natural Advantage of Nations*, *Whole System Design*, *Cents and Sustainability*, *Energy Transformed* ou encore *Engineering Education for Sustainable Development*.

Olivier Descout est Ingénieur-conseil et formateur, il intervient au sein de nombreuses entreprises françaises et étrangères. Il est aussi le traducteur principal de *L'Énergie durable — Pas que du vent !* (De Boeck, 2012).

VONWEIZSACKER
ISSN 2032-7048
ISBN 978-2-8041-8152-9

www.deboeck.com

9 782804 181529