

É d i t o r i a l

Pierre Couveinhes

Chacun en est désormais bien convaincu : la priorité doit être donnée à un développement durable, respectueux de l'environnement, plus économe en ressources minérales et énergétiques. Mais cela n'est pas sans soulever certaines difficultés.

La prise en compte des préoccupations écologiques s'est, jusqu'ici, traduite principalement par la modification à la marge des produits et des procédés, sans toujours en envisager les conséquences indirectes sur l'environnement.

Ainsi, les conceptions architecturales fondées sur le principe du « bâtiment passif » ont permis une réduction appréciable des dépenses de chauffage, mais elles ont, souvent, conduit également à des consommations accrues d'énergie, pour l'éclairage, la ventilation ou la climatisation. De même, chacun a à l'esprit le développement récent de certains biocarburants, qui a entraîné une explosion des prix de certaines matières premières agricoles...

Une solution porteuse d'avenir, pour remédier à ces difficultés, consiste à promouvoir une « **éco-conception** » des produits prenant en compte leurs impacts environnementaux, directs et indirects, pendant toute leur durée de vie.

Des outils à cette fin existent aujourd'hui, fondés notamment sur l'« analyse de cycle de vie » (ACV). Cependant, ils s'avèrent complexes à mettre en œuvre et ils semblent adaptés davantage aux très grandes entreprises qu'aux plus petites. En outre, ces outils visent principalement à comparer entre eux des produits existants, et non à en concevoir de nouveaux. Dans ce contexte, il apparaît primordial de créer des outils de pilotage de l'éco-conception qui, à la fois, puissent être intégrés au processus d'innovation et soient utilisables par les PME. Des développements allant dans ce sens sont en cours, dans des secteurs aussi divers que la construction, l'emballage ou la chimie.

La voie de l'éco-conception apparaît exceptionnellement féconde, car elle permet non seulement d'améliorer les impacts environnementaux des produits, mais également, souvent, d'en réduire le coût de fabrication et/ou d'utilisation, et elle peut être porteuse d'image pour les entreprises concernées.

Elle peut donc être le vecteur privilégié d'un développement durable, car des études le montrent : les consommateurs ne cessent de proclamer leurs préoccupations environnementales, mais ils ne concrétisent ce souci dans leurs comportements d'achat que si cela s'accompagne pour eux d'un gain économique démontré ; de même, les entreprises se vantent volontiers de leurs performances en matière d'environnement, mais elles cherchent plus volontiers à concevoir et à promouvoir des produits « verts » si cela peut leur apporter un avantage compétitif.

**Rédaction**

120, rue de Bercy - Télédéc 797
75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
Fax : 01 53 18 52 72
<http://www.anales.org>

Pierre Couveinhes, rédacteur en chef

Martine Huet, assistante de la rédaction

Marcel Charbonnier, lecteur

Comité de rédaction de la série
Réalités industrielles :

Michel Matheu, président,
Pierre Amouyel,
Grégoire Postel-Vinay,
Claude Trink,
Pierre Couveinhes

Maquette conçue par
Tribord Amure

Iconographe
Christine de Coninck - CLAM !

Fabrication : **AGPA Editions**
4, rue Camélinat
42000 Saint-Étienne
Tél. : 04 77 43 26 70
Fax : 04 77 41 85 04
e-mail : agpaedit@yahoo.com

Abonnements et ventes

Editions ESKA
12, rue du Quatre-Septembre
75002 Paris
Tél. : 01 42 86 55 73
Fax : 01 42 60 45 35
<http://www.eska.fr>

Directeur de la publication :

Serge Kebabtchiff
Editions ESKA SA
au capital de 40 000 €
Immatriculée au RC Paris
325 600 751 000 26

Un bulletin d'abonnement est encarté
dans ce numéro entre les pages 96 et 99.

Vente au numéro par correspondance
et disponible dans les librairies suivantes :
Presses Universitaires de France - PARIS ;
Guillaume - ROUEN ; Petit - LIMOGES ;
Marque-page - LE CREUSOT ;
Privat, Rive-gauche - PERPIGNAN ;
Transparence Ginestet - ALBI ;
Forum - RENNES ;
Mollat, Italique - BORDEAUX.

Publicité

J.-C. Michalon
directeur de la publicité
Espace Conseil et Communication
44-46, boulevard G. Clemenceau
78200 Mantes-la-Jolie
Tél. : 01 30 33 93 57
Fax : 01 30 33 93 58

Table des annonceurs

Annales des Mines : 2^e - 3^e - 4^e de couverture, page 4, 94,
105 et 106.

Illustration de couverture :
Granules de plastique biodégradable.
Ph. © Astrid & Hanns-Frieder Michler /
SCIENCE PHOTO LIBRARY-COSMOS

S o m m a i r e

L'ÉCO-CONCEPTION, UNE NOUVELLE ÉCONOMIE INDUSTRIELLE ?**1 Éditorial**

Pierre Couveinhes

5 Avant-propos : L'éco-conception : une économie de l'écologie. Vers une nouvelle socio-économie industrielle

Marie-Josèphe Carrieu-Costa

Des outils, process et méthodes en questions**10 L'éco-conception : quelques questions posées à l'architecture**

Pascal Gontier

15 Les éco-technologies dans la construction

Bruno Peuportier

22 Vers des bâtiments à énergie positive

Jean-Christophe Visier

27 Emballage – Environnement : bilan et perspectives

Charles Tissandié et Yannick Knapp

34 Analyse de cycle de vie et éco-conception : les clés d'une chimie nouvelle

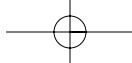
Sylvain Caillol

Énergie et matériaux : quelques nouveaux regards**42 Les déchets, sur la voie de l'économie circulaire**

Diane d'Arras

45 Davantage d'électricité pour moins de CO₂

Yves Bamberger

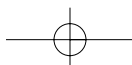


-
- 50 **L'éco-conception et les matières premières renouvelables
La biodégradabilité : l'exemple des polymères**
Alain Copinet
- 56 **Le captage et le stockage géologique de CO₂ : une des solutions pour lutter
contre le changement climatique**
Jean-Michel Gires

**Des entreprises aux consommateurs :
de nouvelles exigences (management, stratégie,
relations au marché et aux consommateurs)**

- 62 **L'éco-conception est-elle rentable pour les entreprises ?**
Matthieu Glachant
- 68 **Le management du développement durable chez Lafarge**
Olivier Luneau
- 72 **Un exemple d'éco-conception dans les filières agricoles, agroalimentaires et
agro-industrielles : le pôle de compétitivité « AgriMip Innovation » en région
Midi-Pyrénées**
Hubert de Rochambeau, Thierry Veronese et Patrice Roché
- 78 **Les entreprises artisanales face à l'éco-conception et au développement
durable**
Sophie Boutillier, Olivier Contant et Claude Fournier
- 85 **L'éco-conception : une valeur ajoutée pour les entreprises et un enjeu futur
de compétitivité ?**
Myriam Puaut
- 95 **Résumés étrangers**

Le dossier a été coordonné par Marie-Josèphe Carrieu-Costa



R É A L I T É S INDUSTRIELLES

une série des Annales des Mines

SOMMAIRE

LES PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ, PREMIER BILAN

Éditorial – *François Valérian*

Les pôles de compétitivité : état des lieux et perspectives au printemps 2008 – *Grégoire Postel-Vinay*

Des expériences locales

Le Pôle Nucléaire de Bourgogne, ou l'art du décalage – *Frédérique Pallez et Stéphanie Fen Chong*

Le nouveau dynamisme industriel de la Région Nord-Pas de Calais – *Francis Wallart*

Imaginnov, un pôle de compétitivité globale – *Ludovic Noël*

Minalogic et l'écosystème économique grenoblois – *Jean Therme*

Les solutions communicantes sécurisées – *Céline Haouji*

La contribution d'un centre de recherches appliquées à l'innovation et au développement économique local : le rôle du Pôle de Plasturgie de l'Est (PPE) – *Claude Trink et Gilbert Pitance*

L'intégration d'une stratégie de développement durable dans les pôles de compétitivité : l'exemple de la Cosmetic Valley – *Denis Chabault*

Un cluster dynamique pour les TIC dans l'Ontario – *Allison Bramwell*

Des regards transversaux

Les pôles de compétitivité et l'intervention des agences de financement de la recherche et de l'innovation – *Jean-François Guthmann*

Formation et pôles de compétitivité – *Claude Maury*

L'Observatoire des pôles de compétitivité – *Thierry Weil*

Les clés de succès tirées de la comparaison de sept pôles internationaux – *Gabriela Miranda*

Politique comparative des pôles : exemples du Japon et de la Corée du Sud et relations partenariales sectorielles avec les pôles français – *Christian Vicenty*

Pôles de compétitivité et Centres de transfert : comment les articuler ? – *Philippe Lefebvre*

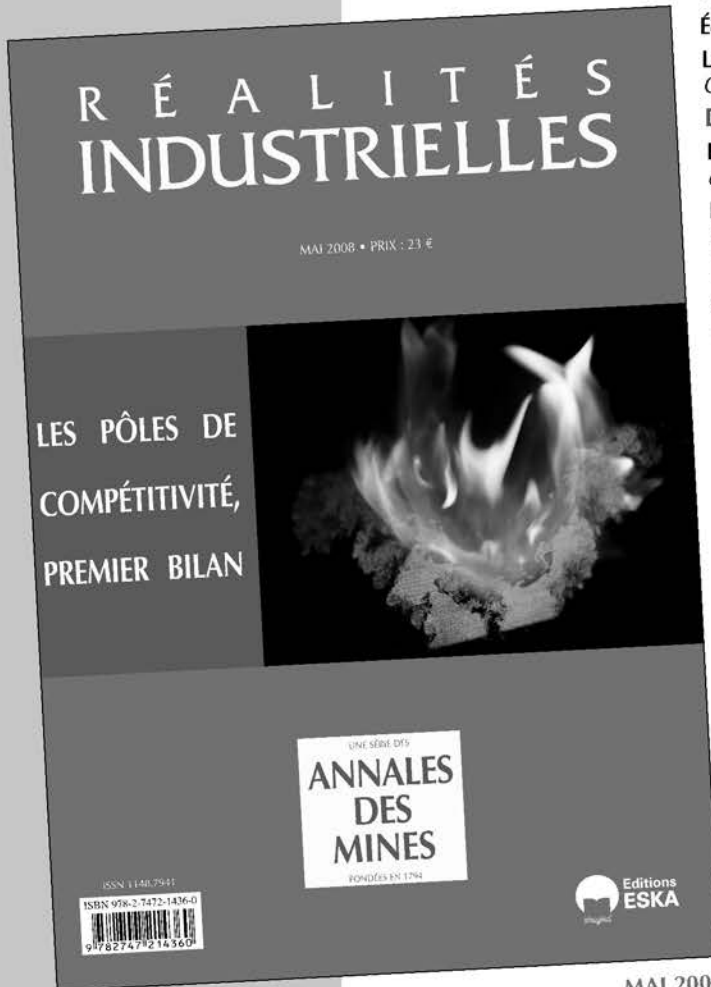
Les pôles de compétitivité : un vrai levier pour l'innovation des PME ? – *Philippe Bassot, Cécile Ezvan, Julie Koeltz*

Les pôles de compétitivité à l'heure de l'évaluation : quel modèle de « cluster à la française » ? – *Julie Tixier, Luciana Castro Gonçalves*

HORS DOSSIER

L'ISAE ou le rapprochement de deux grandes écoles d'ingénieurs au cœur du processus d'internationalisation – *François Bouchet*

Le dossier a été coordonné par Claude Trink



MAI 2008
ISSN 1148.7941
ISBN 978-2-7472-1436-0

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Réalités Industrielles** mai 2008 « Les pôles de compétitivité, premier bilan » (ISBN 978-2-7472-1436-0) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville

L'éco-conception : une économie de l'écologie. *Vers une nouvelle socio- économie industrielle*

AVANT-PROPOS

L'éco-conception est un outil privilégié pour faire passer dans la réalité un développement durable, fondé sur de nouveaux équilibres. Il ouvre la voie à une économie industrielle nouvelle, à une socio-économie nouvelle.

par **Marie-Josèphe CARRIEU-COSTA***

LE DÉVELOPPEMENT DURABLE : UNE NOUVELLE LECTURE DU MONDE ET UNE SOCIÉTÉ NOUVELLE

Le développement dit « durable » connaît, dans nos pays européens – peut-être encore plus en France – un véritable engouement. Il donne lieu à une accélération des recherches, des pratiques, en particulier commerciales, il démultiplie les colloques, distribue des moyens, revisite les activités et les habitudes, anime la presse parlée et écrite, stimule les échanges et les débats, infiltre les projets individuels et collectifs.

Cet enthousiasme a sûrement plusieurs origines :

- La peur, sans doute, de la détérioration de la planète, du rapport homme/ressources, et des menaces sur l'avenir de l'espèce humaine et de son écosystème. La science, parfois décriée, révèle aux hommes, par ses méthodes d'observation et de mesures, l'épuisement des ressources, les limites de la biodiversité, les pollutions, le trou d'ozone, le réchauffement climatique, l'appauvrissement des sols, les famines potentielles, les maladies nomades, les pandémies, etc.
- Moins extrême, peut-être, la crainte s'insinue d'une régression socio-économique généralisée, associées que sont ces menaces à un développement objectivement et individuellement ressenti de la prédation de la nature

(prix des matières premières), des besoins à assurer (déplacements, confort croissants, etc.), d'un avenir fragilisé par des choix difficiles, par des engagements incertains. Face à cette situation, l'urgence de solutions nouvelles, adaptées, apparaît comme incontournable, ne serait-ce que pour restructurer la société et retrouver un minimum de stabilité.

En effet, au-delà des angoisses, cet élan est aussi une façon de prendre ses distances avec notre société actuelle, que, de façon plus ou moins avouée, plus ou moins ferme, chacun perçoit comme ayant perdu son sens, arrivant au bout d'elle-même. Chacun se sent lassé d'un gâchis, d'une marchandisation et d'un individualisme excessifs, d'un monde susceptible de connaître des conflits ouverts (Nord et Sud...) ou/et des conflits économiques, plus latents mais tout aussi dévastateurs, ou encore des conflits sociaux (intergénérationnels, par exemple). Le développement durable apparaît alors comme une façon de sauver le monde et l'Homme, comme un objectif noble, fédérateur et indiscutable, où l'individuel et le collectif se retrouveraient dans une certaine cohésion, où des valeurs humanistes émergeraient de nouveau, où le ralentissement d'un univers qui échappe serait rassurant, où des perspectives claires se dégageraient à nouveau, où une certaine qualité inves-

* Amble Consultants.

tirait la société. Le développement durable porterait en lui l'espérance de pouvoir redistribuer les cartes ; en ce sens, il symbolise aussi beaucoup d'espoirs qui vont au-delà de lui-même, au-delà la réparation d'un univers, il est en partie perçu à la fois comme une attente et une opportunité de refondation sociale.

Sous-produit économique, le monde apparaîtrait alors comme un immense nouveau chantier et un nouveau marché, où tous les produits, toute l'industrie sont à reconstruire, avec des innovations à produire, des normes à réinventer et même... où de nouveaux protectionnismes viendraient renflouer les carnets de commande... où des entreprises en mal d'applications « éthiques » se referaient une image d'« éco-responsabilité ». Mais aussi, un monde où les savoirs et les savoir-faire assureraient des innovations foisonnantes et compatibles, c'est-à-dire un monde qui renégociera des rapports, inévitables à un certain moment, d'équilibre homme/environnement.

Les enjeux du développement durable sont, en effet, multiples et diffus, et ils touchent à tous les domaines et à toutes les pratiques. Ils devraient aussi modifier des construits sociaux, économiques et philosophiques fondamentaux, qu'il s'agisse du temps, de l'espace, de la nature, de la place-même de l'homme (cf. schéma 1).

C'est donc sur tous les fronts et dans toutes les cultures que le développement durable devrait faire sa « révolution », sachant que chaque question soulève de multiples contradictions, que des choix doivent être sans cesse inventoriés, pondérés (nuisances/développement/équilibres/acceptabilité), accomplis, différés, négociés, financés, et éventuellement remis en cause. Le monde politique et associatif s'est emparé en partie de ces enjeux – Grenelle –, navigant difficilement entre les mesures, les préconisations, les conseils et l'existant. Il faut aussi considérer que l'accélération des changements est complexe à appréhender et ce, à des niveaux très différents : il y a dix ans environ, l'agriculteur était jardinier de la nature, et les terres étaient vendues à la ville en extension ; à présent, les besoins en ressources agricoles, en maraîchers et en paysans – qu'il faudrait de proximité, de surcroît – inversent de nouveau la donne. L'énergie était dispensée comme moteur essentiel de la croissance, le souci actuel est d'en réduire les usages. Entre les pollutions du charbon et l'énergie atomique, l'écologie hésite. La chimie, discipline minorée (entre autres, parce que considérée « à risques »), devient centrale dans les évolutions visées et suppose d'autres enseignements et pratiques, etc.

Conception, production, ressources, coûts, performance... : l'arsenal sémantique traditionnel de l'économie industrielle est présent, mais remodelé par le développement durable, en relation stricte avec les limites de la planète. Car c'est bien de cela dont il s'agit, quand on parle de respect de l'environnement ou de développement durable. **C'est un moment de mutation contraint et inéluctable de la société, qui est tout à fait exceptionnel à observer et à analyser.** Le monde est donné comme meurtri, porteur apparemment de l'irré-

parable : ressources, biodiversité, pollution, climat, trou d'ozone, populations et développement menacés..., l'état d'urgence est déclaré, y compris dans les mentalités. Une perception nouvelle du monde est à l'œuvre, où les relations sont radicalement changées, qu'elles soient de l'ordre des pratiques, de la philosophie, des représentations, de l'économie... Cela devrait créer un nouvel ordre mondial, un nouveau paradigme de civilisation, où l'homme est confondu avec son écosystème et ce, pour la préservation de sa propre survie (cf. schémas 1 et 1bis).

L'éco-conception : une nouvelle économie industrielle

Le monde du travail et de la production, dans ce nouveau contexte, cherche à se reconstituer et cherche de nouveaux repères : il s'agit d'aller vers une économie nouvelle, dans laquelle ressources, biens, produits, services s'économisent, se régénèrent, se renouvellent, évoluent vers de nouveaux équilibres, sans casser le développement acquis. En ce sens, les innovations scientifiques et techniques sont placées au centre des représentations de cet univers. Certaines sont déjà, de fait, en partie derrière nous : fondamentales et stratégiques, elles bousculent l'ancien monde, mais elles permettent aussi d'envisager des reconstructions. Dans une vision de développement durable, elles deviennent majeures. Citons, par exemple, la numérisation – simulations, conception, communication – et la société de la connaissance – société du complexe, des systèmes, de l'interdisciplinarité –, ou bien le passage à l'échelle 'nano' – santé, nouveaux modes de production, nouvelle lecture du monde –, etc. Toutes ces avancées, pour n'être pas des incantations, doivent trouver les outils de transformation, les conversions opérationnelles, les projets de recherches et les visions prospective nécessaires.

Parler d'éco-conception, en résonance avec bien des échos qui se répercutent indéfiniment mais à vide, paraît un angle d'attaque intéressant.

L'éco-conception, un outil pour le développement durable

Face à un nouveau paradigme planétaire à aborder (cf. schéma 1), parler d'éco-conception revient à décliner concrètement une grande part opérationnelle du développement durable. Là où peuvent s'opérer les transformations de l'industrie et des pratiques du quotidien. Là où les intentions peuvent devenir des réalités et influencer positivement l'avenir. **Là où se construit une économie industrielle nouvelle et aussi une socio-économie nouvelle** (cf. schéma 1bis), avec des procédés de fabrication à repenser, de nouveaux investissements, des sous-traitances à revoir, des ressources à modifier, des

traditions revues, des méthodes renouvelées, des produits à inventer, à dématérialiser et des marchés à conquérir, des échanges à nourrir. L'Ademe en pose ainsi la définition : « *L'éco-conception est l'intégration dans la production d'un bien ou d'un service, tout au long de son cycle de vie, des impacts produits sur l'environnement, sans que le coût en soit augmenté, ni les performances des produits affectés. Il peut aussi bien s'agir de bâtiments, de textiles, de modes agricoles, de biens intermédiaires... Cela peut référer aux matériaux utilisés, aux procédés, à la consommation d'énergie, aux pollutions, aux déchets et rejets, aux transports, aux modes et procédés de production, etc.* »

Voilà qui est intéressant au-delà des paris difficiles du développement durable. C'est quasiment un mode d'emploi pour faire face aux défis de la tolérance planétaire – « sustainability » – que représente le développement durable, qui suppose des résolutions, des négociations, des politiques à des niveaux tels qu'elles sont quasiment invisibles, y compris en termes de décisions : ne serait-ce qu'en raison de trop de dissymétries entre pauvres et « riches », par exemple. L'éco-conception, en revanche, est un accès possible vers des actions à la faisabilité réelle et aux bénéfices évaluables, à la surface circonscrite et imaginant des méthodologies et des réflexions susceptibles de conditionner un avenir économique différent.

Même si, de fait, elle s'applique aussi à des activités préexistantes dont la survie n'est pas immédiatement en cause, elle bouleverse néanmoins les approches traditionnelles, consommatrices... et de consommation...

En effet, l'entrée dans l'éco-conception n'est pas complètement simple, déjà, en ce qu'elle bouscule des façons d'être, de faire, de créer... concrètes, ancrées dans notre économie, elle-même contingente de représentations habituelles et enracinées. Pour prendre des exemples simples : le logement s'aménage positivement, mais il ne devient pas forcément l'habitat-système cohérent, entre un homme « technologisé », ses habits, et ses environnements eux-mêmes en évolution (sans compter que les innovations et préconisations relèvent, pour l'essentiel, du neuf, qui représente fort peu dans le bâti, et sans compter les métiers à repenser, les architectures à revisiter). Les transports doivent arbitrer entre carburants, vitesse, bruit, sans pour autant vouloir mener à son terme « l'épuisement » de telle ou telle filière : voir la contradiction route/chemin de fer, par exemple. L'e-commerce se développe, mais avec des conditionnements individualisés et des transports accrus. Le traitement des déchets multiplie les coûts, devenant une industrie difficile à supporter pour les individus et les collectivités. L'agriculture hésite entre les alimentation/productivité, pesticides/hybridation, préservation de l'eau et types de cultures. L'industrie se retrouve coincée entre compétition et responsabilité de l'entreprise, y compris sociale (RSE). Le marché, l'innovation, les nouveaux investissements, les fiscalités, les capitaux et les aides diverses hésitent à

s'engager. Les situations acquises ont du mal à ouvrir une entreprise déjà fragilisée par d'autres facteurs (mondialisation) : la concurrence n'intègre pas encore ces contraintes. La recherche, du fait de ses organisations institutionnelles en grande partie, reste trop souvent cloisonnée, disciplinaire, alors qu'elle devrait imprégner tous les domaines des organisations. On voit combien est difficile, de façon très concrète, le passage à une opérationnalité, qui pourrait s'annoncer comme relativement évidente.

On comprend mieux aussi les limites des conseils et des consultants, peu nombreux, gênés qu'ils sont par une absence de scénarios plausibles, de futurologie d'ensemble, que quelques prospectivistes pourraient proposer. Sans compter le peu de budgets que les entreprises y consacrent et le peu de connaissances à faire circuler dans le marché. Il en va de même pour la mise en place de formations adaptées, qui restent trop souvent ou approximatives ou carrément appliquées, alors qu'elles devraient repositionner l'ensemble des problématiques liées, revoir des métiers, des modes d'activités, développer des compétences spécifiques.

L'éco-conception est sans doute une des affirmations concrètes du développement dit durable, qui permet de s'en saisir, et qui donne corps aux diverses déclinaisons qu'on peut en faire.

La définition de l'Ademe, en prenant en compte l'amont et l'aval des échanges de « biens et services » qui fondent le marché, invite à repenser les modes de vie (dématérialité, collectif/individuel) et les savoirs. En ce sens, l'interaction est puissante et synergique entre un nouveau paradigme socio-industriel suscitant une économie nouvelle, et vice-versa. C'est effectivement une chance, de pouvoir retrouver une société de bonne intelligence, où l'homme-centre, vecteur de matérialité, retisse les fils d'une relation équilibrée et globale avec ses environnements. Une culture nouvelle, scientifique et humaine, qui réintègre l'homme dans son « écosystème culturel et d'échanges », comprenant à la fois l'appui des sciences dures pour participer au développement équilibré de son environnement et des sciences humaines et sociales, qui lui permettent de recouvrer son intégrité dans un champ unique de progrès.

La question est donc bien de savoir quels équilibres vont être privilégiés, dans des rapports de marché où l'économique et le social sont confrontés et font face à un paysage industriel à repenser, avec des enjeux écologiques et humains fondamentaux.

L'éco-conception est un atout majeur dans cette conversion, en ceci qu'elle dépasse effectivement les méthodes habituelles (écobilan d'il y a vingt ans, méthodes de design industriel...), si elle reprend et réanalyse aussi en permanence les ingénieries et démarches innovantes pour y réincorporer des perfectionnements, et si elle n'est pas asservie au marketing, pour s'imposer comme une démarche éco-industrielle essentielle et refaçonner les mentalités et les modes de création, de production et de consommation.

C'est à coup sûr un changement de civilisation, au sens le plus banal du terme, car il porte la représentation d'une organisation planétaire. Encore faut-il l'intégrer comme tel et le prendre en charge au niveau collectif, organisationnel (gouvernances), et solidaire (pays riches/pays pauvres...). C'est une opportunité, pour

l'espace industrie/services/marché, de recentrer ses activités comme un éco-système global dans lequel l'humain se débatte moins, mais réinterprète sa place, celle de son espèce et de son devenir. En ce sens, observer ce changement, l'analyser, le soutenir, intervenir, est un acte décisif pour une socio-industrie nouvelle.

UNE NOUVELLE APPROCHE TOUCHANT AUX CONCEPTS FONDAMENTAUX DE LA PENSÉE

Les questions posées par le développement durable sont multiples, voire même parfois difficilement compatibles entre elles ; elles touchent à tous les domaines et à toutes les pratiques. Il modifie les construits sociaux, économiques et philosophiques fondamentaux, qu'il s'agisse du temps, de l'espace, de la nature, de la place de l'homme.

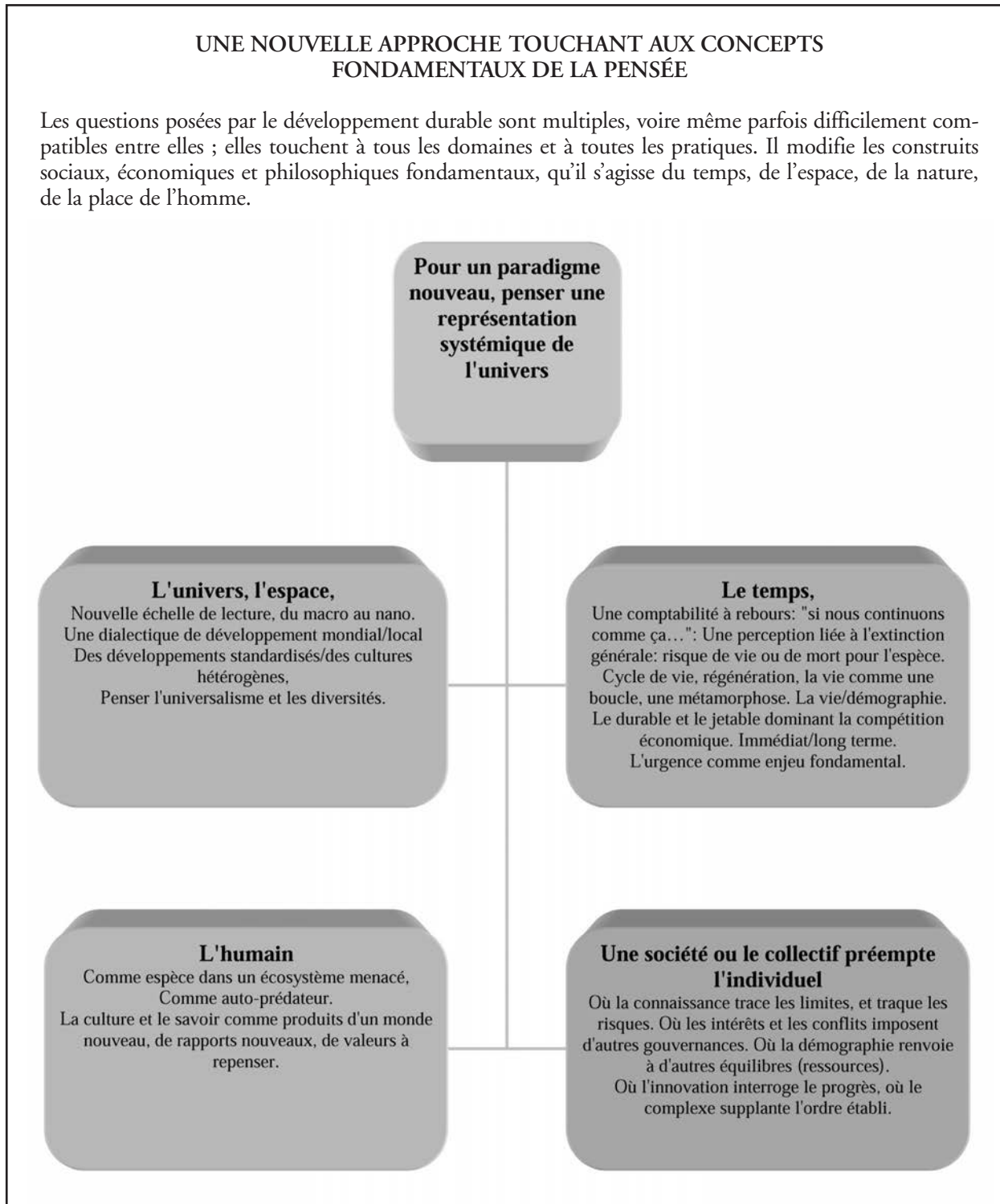


Schéma 1*.



Schéma 1bis*.

* On voit qu'une industrie et une économie nouvelles vont devoir mettre en œuvre, en amont de leurs pratiques, des concepts et des réflexions qui aillent au-delà de simples aménagements et procédés nouveaux. Ceux-ci devront être pris en charge par la société, à travers les recherches et les formations, les comportements et les mentalités. On assiste à une refondation sociale plus ou moins rapide, contingente des arbitrages humains, mais aussi des urgences écologiques. On voit bien aussi que ce qui apparaît dans ces deux schémas, c'est un système global. Une architecture nouvelle de la pensée et de l'action se dessine, qui rend en partie obsolètes les catégories anciennes. Si celles-ci restent pertinentes et à développer, une nouvelle culture s'impose néanmoins, un nouveau rapport homme/nature, producteur d'une société nouvelle, intégratrice, dont la complexité est un défi à la gestion et aux gouvernances à venir.

L'éco-conception : quelques questions posées à l'architecture

Le développement d'une architecture fondée sur le principe du « bâtiment passif » a permis une amélioration spectaculaire des performances en matière de chauffage. Cependant, d'autres considérations environnementales tout aussi importantes, telles l'éclairage en lumière naturelle ou la gestion de l'eau et des déchets, ont souvent été laissées au second plan. En outre, une partie des gains en matière de chauffage a été compensée par la croissance d'autres consommations énergétiques pour la ventilation, l'éclairage ou la climatisation. Une nouvelle génération de bâtiments respectueux de l'environnement devra prendre en compte l'ensemble des consommations d'énergie durant la période d'occupation, ainsi que l'énergie « grise » liée à la fabrication des matériaux et à leur mise en œuvre.

par **Pascal GONTIER***

Après une longue phase de gestation, les préoccupations environnementales de nos sociétés commencent peu à peu à trouver une traduction significative dans la conception des bâtiments. La prolifération actuelle de bâtiments présentés comme écologiques témoigne de cette nouvelle tendance, même si le phénomène dit de « *greenwashing* » (1) ne semble pas avoir complètement épargné le secteur de la construction.

Cette émergence d'une nouvelle génération de bâtiments plus respectueux de l'environnement a été accompagnée par une vaste panoplie de réglementations, normes et labels qui font aujourd'hui l'objet d'une rude concurrence au niveau international. Ces outils, qui peuvent cacher des enjeux technologiques et industriels, ont une influence très importante sur la manière de concevoir et de construire les bâtiments.

Cette influence va bien au-delà des matériaux et dispositifs de construction : elle concerne de façon directe l'architecture et son impact sur nos modes de vie.

En France, la démarche Haute Qualité Environnementale [HQE] a, depuis la fin des années 90, joué ce rôle d'accompagnateur en diffusant, sous la forme d'un système cohérent et lisible, la plus grande partie des problématiques environnementales présentes à l'échelle du bâtiment. Cependant, l'absence d'objectifs ambitieux et chiffrés a rapidement constitué une limite pour la HQE, par rapport à d'autres labels et référentiels conçus afin d'évaluer les « performances » environnementales des projets. La démarche HQE a ainsi joué un

* Architecte DPLG.

(1) ou éco-blanchiment.



Projet de rénovation urbaine s'intégrant dans le Plan Climat de Paris (passage de la Duée, quartier de Ménilmontant, Paris XX^e) (photo-montage Atelier Pascal Gontier-Paris).

rôle de sensibilisation important auprès d'un très large public, tout en permettant à de nombreux projets de s'afficher comme « environnementaux », malgré des performances plutôt modestes.

Depuis 2007, la certification Bâtiment Basse Consommation-Effinergie, qui fonctionne un peu comme un « plug in » de la HQE, comble en partie ce manque. Elle témoigne de la mutation que nous vivons actuellement et qui se traduit par une recherche de réelles performances environnementales qui soient chiffrables, et valorisables. Elle témoigne également d'une prédominance des préoccupations énergétiques qui n'est pas sans susciter quelques interrogations.

En effet, cette focalisation sur les performances énergétiques comporte le risque de créer un déséquilibre, en laissant au second plan d'autres considérations environnementales tout aussi importantes, telles que celles concernant la lumière naturelle, la gestion de l'eau et des déchets ou la biodiversité. Par ailleurs ce tropisme énergétique est, pour des raisons historiques, très partiel, car très largement orienté vers des considérations thermiques et plus particulièrement vers les problématiques de chauffage. Cela s'explique par le fait que c'est en grande partie à partir du standard allemand « Passivhaus » (créé il y a dix ans) et de son cousin suisse « Minergie » que se sont développées les approches énergétiques qui dominent actuellement.

Fort de son succès depuis dix ans en Allemagne et en Autriche, le concept de bâtiment « passif » s'est en effet imposé comme un des modèles emblématiques de l'architecture écologique. Le principe du Passivhaus, ou

« bâtiment passif » (2), repose sur une idée simple, mais lumineuse : en réduisant les besoins de chauffage de façon drastique (3), il devient possible de chauffer un bâtiment en faisant uniquement appel à un système de ventilation mécanique. Les surcoûts engendrés par la très forte isolation, les fenêtres dotées de triples vitrages particulièrement performants et la ventilation double flux à récupération de chaleur sont, de ce fait, en partie compensés par l'économie réalisée sur l'installation de chauffage.

Les bâtiments « passifs » sont parfaitement étanches et exempts de ponts thermiques, ce qui nécessite un projet étudié minutieusement, dans les moindres détails, une mise en œuvre parfaitement soignée et des éléments de construction de très bonne qualité. Du point de vue de la qualité technique, ce sont potentiellement de « beaux bâtiments », susceptibles d'illustrer la célèbre phrase de Mies Van der Rohe : « Dieu est dans le détail ». Ils sont souvent reconnaissables à leur simplicité géométrique, qui peut, selon les cas, être le support d'un langage minimaliste inventif ou se traduire par un appauvrissement architectural.

Contrairement aux bâtiments de la génération « bioclimatique », dont le concept énergétique reposait essentiellement sur la valorisation des apports solaires, et qui

(2) « bâtiment passif » est ici une traduction de « Passivhaus », cette expression ne devant pas être confondue avec « architecture solaire passive ».

(3) Les consommations de chauffage doivent être inférieures à 15 kWh/m²/an et les consommations globales doivent être inférieures à 120 kWh/m²/an.

avaient de ce fait besoin d'une orientation favorable et d'un site dégagé pour exister, les bâtiments « passifs » peuvent s'inscrire dans n'importe quel site urbain, même orienté au nord. En effet, ces bâtiments présentent des surfaces vitrées très peu déperditives du point de vue thermique grâce à leurs triples vitrages et ils peuvent tirer parti des apports internes autant que de l'énergie du soleil, grâce à leur ventilation double flux à récupération de chaleur. Le concept de bâtiment « passif » a ainsi permis à l'architecture solaire de s'urbaniser et même d'apporter une réponse à la problématique de la densité de l'habitat, qui est au cœur des préoccupations environnementales actuelles.

Les bâtiments « passifs » peuvent également se passer des espaces intermédiaires, qui constituent la marque des bâtiments de la génération précédente et qui en font le charme, mais qui sont difficiles à intégrer en milieu urbain, alors que l'espace disponible y est nécessairement mesuré. Là encore, le triple vitrage et la ventilation double flux ont produit leurs effets : ils ont partiellement relégué au rang de curiosité historique – pour un temps, tout au moins – la serre bioclimatique. En s'éloignant du modèle « bioclimatique » qui reposait sur une relation douce entre l'intérieur et l'extérieur, la génération « passive » semble, paradoxalement, vouloir limiter les interfaces avec l'environnement extérieur. Elle semble autant chercher à se protéger contre l'environnement extérieur qu'à le protéger. Cette stratégie la conduit à se rapprocher imperceptiblement d'un autre modèle : celui du sous-marin. Il faut prendre garde à de telles évolutions, qui ne sont pas sans rappeler celles qui ont eu lieu quand le recours massif à la climatisation est devenu la règle pour les bâtiments de bureau. Nous n'en avons en effet pas encore fini avec cette génération de « bâtiments-aquariums », totalement indifférents à leur environnement extérieur, qui ne cessent de proliférer aux quatre coins du monde, pour le plus grand mal-être (4) d'une partie non négligeable de leurs occupants.

Dans son schéma originel, le bâtiment « passif » présente des limites. En effet, si ses performances thermiques sont très élevées en hiver, quel que soit le site d'implantation, les autres postes de consommations (5) n'affichent pas les mêmes niveaux d'ambition. D'ailleurs, le fait que le standard « bâtiment passif » affiche fièrement des consommations de chauffage attrayantes tout en restant muet sur les consommations d'énergie de ventilation, est, de ce point de vue, significatif. En effet, dans un bâtiment passif, les consommations de ventilation sont – une fois converties en énergie primaire – à peu près équivalentes aux consommations de chauffage. Cela s'explique par le fait que, pour atteindre ses brillantes performances thermiques, le bâtiment « pas-

sif » est entièrement dépendant d'une machinerie qui en assure les fonctions vitales. D'apparence insignifiant, ce point est pourtant de nature à orienter profondément la conception des bâtiments.

Le dispositif de ventilation mécanique permet, en effet, de s'affranchir de la nécessité d'ouvrir directement sur l'extérieur un certain nombre de locaux et, par ce biais, de concevoir des bâtiments plus épais, donc plus compacts et moins déperditifs du point de vue thermique. C'est ainsi que le dogme de la compacité gagne une caution écologique largement imméritée, alors même qu'il correspond, avant tout, à une tendance lourde déjà bien établie et, bien souvent, motivée par des considérations économiques de court terme. Cette quête effrénée de la compacité peut conduire à concevoir des bâtiments dont de multiples espaces, jadis ouverts sur l'extérieur, sont devenus aveugles et introvertis. Ces espaces deviennent, de ce fait, fortement dépendants de l'éclairage artificiel et difficiles à ventiler de façon naturelle pour répondre aux fortes chaleurs de l'été. C'est notamment le cas des cages d'escaliers, des paliers et des salles de bains qui, en perdant leur accès direct à l'air extérieur, aux rayons du soleil et à la vue sur leur environnement, ont également perdu une grande partie de leurs qualités spatiales.

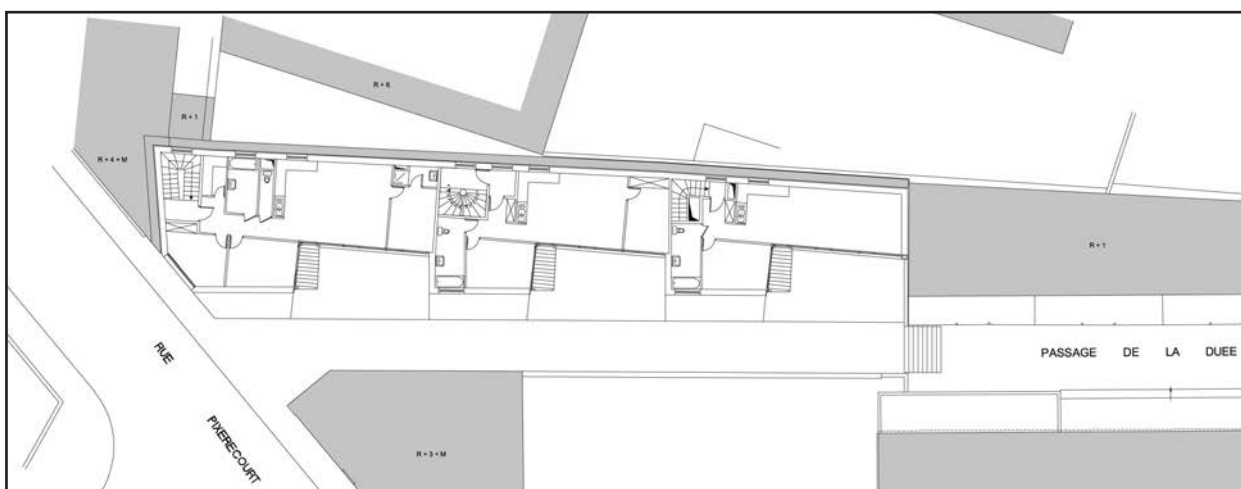
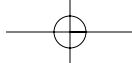
Alors que, jusqu'à une période récente, la lumière et l'air étaient des dons que l'architecture avait pour vocation de valoriser et de célébrer, il s'agit aujourd'hui de biens quantifiables, susceptibles d'être gérés par des machines. Pourtant, si la prothèse technique peut ici se substituer à l'organe architectural, le coût énergétique est loin d'être négligeable. En effet, aux augmentations de consommation électrique dues à l'éclairage artificiel et à la ventilation peuvent venir se surajouter celles liées à des systèmes de climatisation coûteux, qui deviennent alors nécessaires et qui sont particulièrement néfastes pour l'environnement.

Or, si les problématiques liées à la thermique d'hiver ne sont plus, du moins d'un point de vue conceptuel, particulièrement difficiles à traiter, en raison des progrès enregistrés ces dernières années dans les technologies de la construction, les problématiques énergétiques liées au confort d'été sont, à l'ère des changements climatiques, beaucoup plus complexes : elles constituent de véritables enjeux, pour les années à venir.

Il est indéniable que le concept de bâtiment passif, en répondant parfaitement à son contexte historique et climatique, a imposé un nouveau standard en matière de consommation de chauffage. Il a permis de s'attaquer au chantier prioritaire d'alors : venir à bout des « passoires thermiques ». Pourtant, dix ans après sa naissance, le concept de bâtiment passif semble être appelé à évoluer, afin de rééquilibrer les niveaux de consommation préconisés. Cette évolution devrait conduire à tendre, pour l'ensemble des postes énergétiques, vers des niveaux de performance aussi ambitieux que ceux qui sont actuellement pris en compte pour le chauffage. Il apparaît, dès lors, que les postes de consommation faisant appel à l'énergie électrique

(4) Il s'agit du syndrome du bâtiment malsain (*sick building syndrome*).

(5) Le niveau de consommations globales requis (de 120 kWh/m²/an en énergie primaire) peut être atteint en utilisant des appareils électriques énergétiquement efficaces.



Plan-masse du projet de rénovation urbaine du passage de la Duée, à Paris (voir photo, page 11).

constituent les enjeux énergétiques stratégiques de demain.

L'intégration d'exigences élevées vis-à-vis de problématiques telles celles de la lumière naturelle et la ventilation devrait permettre à une nouvelle génération de bâtiments écologiques d'émerger. En répondant de façon globale à ces problématiques complexes, cette nouvelle génération sera sans doute, d'un point de vue architectural et technique, moins « archaïque » que la précédente et elle entretiendra une relation plus apaisée et plus fine avec son environnement.

La prise en compte par le label BBC-Effinergie des consommations électriques pour la ventilation et l'éclairage au-delà des seuils réglementaires est le signe que cette évolution pourrait désormais avoir lieu. Toutefois, cette prise en compte ne produit pas aujourd'hui uniquement des effets positifs : elle incite en effet les maîtres d'ouvrages à se passer du système de ventilation double flux, certes efficace, mais cher et gourmand en énergie électrique (6) et à le remplacer par un système de ventilation simple flux hygro-réglable. Cela conduit à limiter les débits de renouvellement d'air au strict minimum, en les assujettissant aux taux d'occupation, au risque d'amoindrir la qualité de l'air intérieur (avec les effets néfastes sur la santé que cela engendre et que l'on commence à mieux appréhender).

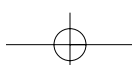
La résolution de ce problème difficile passe sans doute par le développement de dispositifs plus légers et moins gourmands en énergie. En effet, si la régulation précise des débits d'air au moyen de systèmes mécaniques peut sembler nécessaire en hiver, c'est-à-dire quelques mois, seulement, dans l'année, elle perd en grande partie son utilité en-dehors de ces périodes de chauffe. Il apparaît dès lors illogique d'orienter la conception des bâtiments en fonction de ces quelques mois. Les différentes stratégies susceptibles d'être explorées peuvent faire appel à des dispositifs allant de la ventilation naturelle assistée avec récupération de chaleur aux différents systèmes de ventilation hybrides.

Ce remplacement d'un type de conception simple, reposant sur un système purement mécanique, par un type de conception plus sophistiqué, faisant un usage plus modéré des dispositifs mécaniques et mettant l'architecture à contribution de façon plus active, implique l'intégration d'un savoir-faire important et d'une technologie de modélisation *high-tech*, qui soient capables de simuler les différents flux présents au sein d'un bâtiment. Les mouvements d'air, qui se produisent de façon naturelle dans l'ensemble d'un bâtiment à différents moments, sont en effet beaucoup plus difficiles à appréhender que ceux qui résultent de l'action continue d'un ventilateur dans un conduit.

Si la maîtrise des consommations globales d'énergie d'un bâtiment durant sa période d'occupation est un sujet d'actualité, la maîtrise des consommations d'énergie « grise » liée à la fabrication des matériaux et à leur mise en œuvre constitue probablement un sujet tout aussi important. En effet, pour un bâtiment de type « passif », l'énergie « grise » peut représenter l'équivalent de l'énergie consommée dans le bâtiment pendant plusieurs décennies. La réduction des quantités de matière mise en œuvre, ainsi que l'utilisation de matériaux à faible contenu énergétique, comme le bois, peuvent permettre de diminuer très fortement cette quantité d'énergie « grise ». Il peut toutefois y avoir une contradiction entre la volonté de dématérialiser le bâtiment, visant à le faire entrer dans le cadre d'une économie légère, et la recherche d'inertie thermique, qui peut être justifiée par des considérations thermiques. Cette contradiction peut être féconde et conduire à la quête utopique d'une inertie sans masse.

Dans le cadre d'une démarche d'éco-conception, la réduction des consommations énergétiques n'est pas, bien sûr, une finalité en soi. Celle-ci ne peut en effet jamais être suffisante pour que le bâtiment puisse se passer complètement d'apports énergétiques, ne serait-

(6) Surtout lorsque celle-ci est convertie en énergie primaire, avec un taux de conversion de 2,58.



ce que pour compenser les nécessaires consommations électriques des différents appareils électroménagers et de l'éclairage. Il est, en revanche, de plus en plus nécessaire de considérer à différentes échelles la problématique de la production de d'énergie et de considérer le bâtiment comme un producteur potentiel, crédible, d'énergie électrique.

La quantité d'énergie électrique solaire potentiellement produite par un bâtiment trouve toutefois ses limites, qui sont fonction de l'énergie solaire disponible sur le volume de la construction. Dans certains cas, cette énergie peut être négligeable au regard de la demande en électricité au sein du bâtiment. C'est notamment le cas dans des tissus urbains très denses ou pour de terrains ne bénéficiant pas d'une orientation solaire favorable. Dans d'autres cas, la quantité d'énergie potentiellement produite par le bâtiment peut dépasser largement ses besoins internes. Cette diversité des situations doit être considérée de façon positive, car elle produit des tissus urbains riches et variés.

Cette approche conduit à considérer la ville comme un écosystème, au sein duquel certains bâtiments sont nécessairement consommateurs d'énergie, tandis que d'autres en produisent. Dans ce contexte, le bâtiment à énergie positive peut alors devenir un maillon qui structure la ville et joue un rôle écologique et urbain important. Naturellement, cette approche éco-systémique dépasse largement le cadre des enjeux énergétiques : elle peut concerner l'ensemble des flux, comme l'eau et les matières organiques.

Pour répondre à cette complexité nouvelle, les outils de modélisation informatiques sont amenés à jouer un rôle crucial. S'ils sont aujourd'hui principalement orientés vers l'évaluation des projets, ils sont amenés à évoluer rapidement pour devenir de plus en plus de véritables outils de conception, utilisables par les architectes autant que par les ingénieurs, et ce, dès les premières phases d'un projet. L'intégration de tels outils à la conception des projets est susceptible de transformer radicalement la manière de concevoir ceux-ci, et, à terme, probablement, la forme même de ces projets.

Les éco-technologies dans la construction

Des outils ont été développés pour évaluer les impacts environnementaux des bâtiments, en intégrant la fabrication des matériaux de construction, le chantier, les procédés liés à l'utilisation (comme le chauffage et la consommation d'eau), ainsi que la démolition, le traitement des déchets et leur recyclage éventuel. Ces outils visent à apporter une aide à la décision, et permettent d'étudier des innovations techniques sous l'angle de la qualité environnementale.

par **Bruno PEUPORTIER***

DES OUTILS, PROCESS ET
MÉTHODES EN QUESTIONS

Le secteur du bâtiment contribue de manière importante aux impacts environnementaux des activités humaines. C'est par exemple en France – et en Europe – le secteur le plus consommateur d'énergie, avec, à lui seul, près de la moitié de la consommation totale, soit deux fois plus que l'industrie. La consommation d'eau potable représente plus de 10 % des prélèvements, et une quantité cinq fois plus importante est utilisée pour la production d'électricité, qui est consommée à 60 % dans les bâtiments. Entre une et deux tonnes de matériaux sont utilisées par m² construit, ce qui fait du bâtiment l'un des plus importants débouchés pour les produits industriels. 48 millions de tonnes de déchets sont produites chaque année sur les chantiers de démolition, de réhabilitation et de construction, à comparer aux 28 millions de tonnes d'ordures ménagères. Les émissions de polluants liées au bâtiment sont très importantes, aussi bien dans l'air (22 % des gaz à effet de serre, par exemple) que dans l'eau (un quart des rejets en équivalent phosphate). Il est donc essentiel de mobiliser l'ensemble de la filière pour préserver les générations futures et la biodiversité. Face à ce contexte, certaines technologies peuvent contribuer à réduire les impacts environnementaux des bâtiments. Mais la construction neuve ne représente, par an, qu'environ 1 % du parc existant, qui constitue donc un enjeu essentiel dans une politique de long terme. En effet, la démolition ne concerne chaque année que de l'ordre de 0,03 % du parc, qui se renou-

velle ainsi beaucoup plus lentement que celui des véhicules, par exemple. Il ne suffit donc pas d'agir sur la construction neuve pour atteindre des objectifs tels que la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Peut-on affirmer pour autant que le bâtiment le moins polluant est celui qu'on ne construit pas ? Ce n'est pas si simple : certes, rénover un bâtiment ancien évite la fabrication d'une quantité importante de matériaux, qui serait nécessaire pour une construction neuve, mais il est difficile d'atteindre le même niveau de performance que dans le neuf, en particulier en matière d'énergie. Les impacts évités peuvent être alors compensés par ceux générés, année après année, pour le chauffage (par exemple). Il faut, d'autre part, assurer les besoins du présent, et répondre aux besoins des demandeurs de logement (notamment des 100 000 personnes sans domicile fixe).

Relever ces défis demande de modifier en profondeur les pratiques professionnelles et les technologies. Les décisions influençant le plus la performance d'une construction sont prises durant les phases amont, d'où l'importance de la programmation, qui devrait inclure des exigences de performance environnementale, et de l'éco-conception, consistant à prendre en compte les aspects environnementaux lors de la conception.

* MINES PARISTECH, Centre Energétique et Procédés.

Domaine	Critères
Ecologique	Préservation des ressources (énergie, eau, matières premières, sol) Emissions dans l'air, l'eau et le sol (gaz à effet de serre, atteinte à la couche d'ozone, acidification (1), eutrophisation (2), toxicité sur l'homme, la faune et la flore...) Production de déchets (inertes, banals, dangereux, radioactifs)
Economique	Coût d'investissement, de fonctionnement, d'entretien et de maintenance, de démantèlement Durabilité, valeur patrimoniale
Socioculturel	Fonctionnalité, adaptabilité Confort (visuel, thermique, acoustique, olfactif) Santé (cancers, autres maladies, accidents) Image, mémoire, valorisation personnelle et emploi, démocratie locale, équité...

Tableau 1 : Exemple de grille multicritères.

VERS UNE GESTION INTERSECTORIELLE DE L'ENVIRONNEMENT

La performance d'un bâtiment est la résultante d'un programme établi par le maître d'ouvrage (respectant a minima la réglementation), du choix du site, de la compétence de l'architecte et des bureaux d'études, de l'usage de technologies adaptées, du soin apporté par les entreprises à la réalisation et du comportement citoyen des occupants. Le secteur du bâtiment est alors en interaction avec ceux de l'industrie des matériaux et composants de construction, de l'énergie et des transports. Selon certains, il ne sera pas possible d'améliorer le parc existant et, par conséquent, les efforts doivent porter sur la fourniture d'énergie « propre ». A l'autre extrême, les contraintes pèsent entièrement sur le bâtiment, qui devient producteur d'énergie. La densification urbaine est parfois proposée pour réduire les problèmes environnementaux liés aux transports. L'innovation technique, quant à elle, peut être axée plutôt sur l'enveloppe ou plutôt sur les équipements. En fonction du type de bâtiment, de son usage, du contexte local (en particulier, climatique), une approche peut s'avérer plus pertinente qu'une autre. Il s'agit alors pour les acteurs impliqués de partager des critères de performance communs pour comparer entre elles différentes solutions, architecturales et techniques. La multiplicité des fonctions du bâtiment complique la caractérisation de cette performance, qui intègre des aspects écologiques, économiques et socioculturels. Les approches monocritères présentent le risque de remplacer un problème environnemental par un autre : par exemple, la préservation de la couche d'ozone a conduit à sélectionner de nouveaux fluides frigorigènes contribuant à l'effet de serre. Une liste de critères est donnée dans le tableau 1 à titre d'exemple. De telles grilles ont été étudiées dans différents projets européens et nationaux, comme Eco-housing, Adequa et Lense. L'évaluation correspondant à ces critères nécessite des informations provenant des fabricants de matériaux, des producteurs d'énergie et d'eau, des entreprises de traitement des déchets, etc. Mais la fabrication des produits nécessite des matières premières et de l'énergie, et

la production d'énergie nécessite, aussi, des matériaux pour la construction des infrastructures de production. Les impacts environnementaux peuvent être évalués en résolvant un système matriciel prenant en compte cet ensemble d'interactions. Cette approche est mise en œuvre dans la base de données *Ecoinvent* (3), élaborée en Suisse, mais contenant des données européennes sur certains matériaux, et même des données de différents pays (dont la France) concernant certains procédés (comme, par exemple, la production d'électricité). Les impacts environnementaux liés aux services (banques, assurances...) peuvent être affectés aux différents produits, sur la base de systèmes matriciels utilisés en économie. Simplifier les analyses rend l'approche plus accessible aux nombreuses PME présentes sur le marché des produits de construction, mais cela nécessite une validation.

En France, les fabricants de matériaux et de composants de construction ont élaboré une norme permettant de caractériser la performance environnementale de ces produits selon une méthode harmonisée. Chaque fabricant connaît les émissions de polluants liées aux procédés de fabrication qu'il contrôle, mais il doit faire appel à d'autres données (généralement issues de la base suisse) pour les matières premières et l'énergie qu'il consomme. Cette approche offre l'avantage d'une gestion décentralisée de ces évaluations, chaque industriel choisissant le prestataire de son choix, mais une réflexion plus globale sur la mutualisation de certaines informations et leur traitement matriciel pourrait être utile.

La base de données française *Inies* (4) ne concerne que les produits de construction. Or, le choix d'un produit influence souvent la consommation d'énergie du bâtiment où il est mis en œuvre ; donc, des données sur les

(1) L'acidification est liée aux pluies acides, entraînant le dépérissement des forêts.

(2) L'eutrophisation est liée à l'apport d'engrais dans les eaux de surface, pouvant entraîner la prolifération d'algues et l'appauvrissement du milieu aquatique en oxygène.

(3) www.ecoinvent.ch

(4) www.inies.fr

impacts liés à la production d'énergie sont nécessaires. Les perspectives, en termes de débouchés pour les produits issus du recyclage, faciliteront peut-être une telle gestion intersectorielle des questions d'environnement, ce qui permettrait de dépasser les optima locaux.

L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS

L'objectif est de mieux cerner les liens de cause à effet induisant les impacts environnementaux, de manière à aider les acteurs à réduire ces impacts. Le plus souvent au niveau international, l'approche par analyse de cycle de vie (ACV) est adoptée pour évaluer les impacts environnementaux des produits. Cette méthode consiste à établir l'inventaire des substances puisées et émises dans l'environnement : ressources utilisées, émissions dans l'air, l'eau et le sol, déchets. Des indicateurs environnementaux sont ensuite évalués. Par exemple, le potentiel de réchauffement global est défini par le Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique. Cet indicateur permet d'exprimer une équivalence en CO₂ des différents gaz à effet de serre, selon leurs propriétés optiques et leur durée de vie dans l'atmosphère.

Certains aspects environnementaux nécessitent des modèles plus sophistiqués, dont la marge d'incertitude reste importante. C'est le cas, en particulier, de la toxicité humaine. Un modèle élaboré au niveau européen consiste à mailler le territoire et à étudier le devenir des polluants émis dans chaque maille, en intégrant le transport de ces substances entre compartiments écologiques (air, eau de surface, nappes phréatiques, sols, océans, sédiments...), leur transfert vers l'eau potable et la nourriture, les doses reçues par les populations (par inhalation et ingestion) et les risques sanitaires en fonction de ces doses, exprimés en années de vie perdues (DALY (5)). Un indicateur similaire est défini pour la biodiversité, en pourcentage d'espèces disparues sur une surface de territoire et une durée déterminées (PDF.m².an) (6).

Nous avons appliqué cette méthode au produit «bâtiment» (7), en tenant compte de ses spécificités par rapport aux produits industriels : chaque bâtiment est en général unique, et il entretient des liens forts tant avec ses occupants qu'avec le site dans lequel il est intégré. Nous avons choisi de développer un outil informatique, le logiciel EQUER (8), pour faciliter les comparaisons de variantes et constituer ainsi une aide à la décision. Un chaînage a été réalisé avec l'outil de simulation thermique COMFIE, ce qui établit un lien entre l'analyse énergétique et l'analyse environnementale.

Un tel outil d'analyse est utilisable par différents professionnels du bâtiment. Il peut fournir des éléments aux architectes souhaitant justifier leurs projets auprès des maîtres d'ouvrage en présentant un bilan environnemental rigoureux. L'élargissement des missions des

BET aux aspects environnementaux peut leur permettre d'intervenir plus en amont dans le processus de conception, avec un effet bénéfique sur la qualité technique. Les industriels peuvent promouvoir de nouveaux produits, car un bilan global énergie-environnement peut contribuer à caractériser la qualité d'un composant. La méthode pourrait également être utilisée pour constituer une base de connaissances sur la construction à faible impact environnemental, et pour mieux informer les occupants.

Le principe général que nous suivons consiste à assurer une qualité satisfaisante de l'ambiance intérieure, tout en réduisant les impacts environnementaux externes. Nous nous fixons ainsi un objectif fonctionnel – le bâtiment doit abriter un certain nombre d'activités pour lesquelles il est prévu, avec un certain niveau de confort, de qualité de la vie, etc.–, puis nous cherchons à minimiser l'impact environnemental, en comparant des variantes répondant aux exigences fonctionnelles énoncées. Notre objet d'étude, l'unité fonctionnelle au sens de l'analyse de cycle de vie, est donc un bâtiment répondant à ces exigences, et considéré sur une certaine durée.

Pour effectuer l'analyse, il faut cependant modéliser un système plus large, variable en fonction des objectifs de l'étude. Si l'objectif est de comparer entre eux différents sites pour une construction, il convient d'inclure les transports induits (par exemple, les trajets domicile-travail), la gestion des déchets ménagers, ainsi que les réseaux d'énergie (électricité, gaz, éventuellement chaleur...) et d'eau. Si l'étude se restreint à l'enveloppe et aux équipements du bâtiment, le transport des personnes peut être négligé, si toutes les variantes comparées sont équivalentes de ce point de vue.

Les inventaires des procédés prennent en compte les phases amont éventuelles : par exemple, dans l'inventaire du kWh utile fourni par une chaudière à gaz, l'extraction et la distribution du gaz sont prises en compte. Les impacts liés aux infrastructures sont comptabilisés s'ils sont importants. Par exemple, les inventaires de transport tiennent compte de la construction et de l'entretien des réseaux, alors que les impacts de la construction des usines de fabrication des matériaux et composants sont considérés comme négligeables. Les déchets ménagers peuvent être recyclés ou incinérés, avec ou sans récupération de chaleur. L'inventaire correspondant est calculé en fonction de données fournies par l'utilisateur (rendement de la valorisation énergétique, énergie substituée...).

(5) *Disability adjusted life loss*, années de vie perdues ajustées par le handicap, cf. M.J. Goedkoop et R. Spriemsma, *The Eco-Indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report, methodology annex, manual for designers*, avril 2000.

(6) PDF : *Potentially Disappeared Fraction* (fraction potentiellement disparue), cf. référence ci-dessus.

(7) Bruno Peuportier, *Eco-conception des bâtiments*, Presses de l'École des Mines, avril 2003.

(8) Cf. www.izuba.fr

<i>Indicateur environnemental</i>	<i>Unité</i>	<i>Référence</i>
Demande cumulative d'énergie	GJ	(Frischknecht <i>et al.</i> , 2004) (9)
Eau utilisée	m ³	(Frischknecht <i>et al.</i> , 2004)
Épuisement des ressources abiotiques	kg antimoine eq.	(Guinee <i>et al.</i> , 2001) (10)
Déchets produits	t	(Frischknecht <i>et al.</i> , 2004)
Déchets radioactifs	dm ³	(Frischknecht <i>et al.</i> , 2004)
Effet de serre (100 ans)	t CO ₂ eq.	(GIECC, 2007) (11)
Acidification	kg SO ₂ eq.	(Guinee <i>et al.</i> , 2001)
Eutrophisation	kgPO ₄ ³⁻ eq.	(Guinee <i>et al.</i> , 2001)
Dommage à la qualité des écosystèmes dus à l'écotoxicité	PDF*m ² .an	(Goedkoop et Spriensma, 2000), *cf. note 6
Dommage à la santé	DALY**	(Goedkoop et Spriensma, 2000), **cf. note 5
Production d'ozone photochimique	kg C ₂ H ₄ eq.	(Guinee <i>et al.</i> , 2001)
Odeur	m ³ air	(Guinee <i>et al.</i> , 2001)

Tableau 2 : Liste des indicateurs environnementaux pris en compte dans l'outil EQUER.

Les inventaires utilisés par le logiciel EQUER sont issus de la base de données *Ecoinvent*. Cette base comporte davantage de substances que la base française *Inies* (par exemple, les dioxines y sont comptabilisées). Ces inventaires comportent ainsi plusieurs centaines de flux. Pour permettre l'interprétation des résultats, il est alors pertinent de condenser les informations en utilisant des indicateurs environnementaux. Nous en considérons 12 pour l'instant (cf. *tableau 2*).

Le thème « ozone photochimique » concerne l'ozone troposphérique et ses effets sur la santé (maladies respiratoires) – la concentration en ozone étant l'un des paramètres de la qualité de l'air, dans les villes. L'indicateur « épuisement des ressources » prend en compte les réserves mondiales des matières concernées et la rapidité de leur raréfaction. La génération d'odeurs est exprimée en divisant les émissions (en mg) par les seuils respectifs (en mg/m³) à partir desquels les substances peuvent être détectées par 50 % d'un échantillon représentatif de la population. L'indicateur est alors exprimé en m³ d'air vicié.

LIMITES DE LA MÉTHODOLOGIE

L'analyse du cycle de vie (ACV) ne porte que sur les aspects quantifiables de la qualité environnementale. Les appréciations plus subjectives, concernant l'esthétique ou la qualité de la vie, ne sont donc pas abordées. En ce qui concerne la santé, l'indicateur de toxicité humaine est évalué en considérant des effets moyennés sur le territoire européen : il ne dépend pas du lieu

d'émission (densité de population, vents dominants...). Mais celui-ci n'est en général pas connu, car le concepteur ne sait pas dans quelle usine les matériaux de construction qu'il a prescrits seront fabriqués. Si l'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact sanitaire sur les occupants du bâtiment ou sur les riverains, il est nécessaire d'utiliser d'autres types de modèles, intégrant les transferts de masse dans les revêtements de sol et de murs, les mouvements d'air, etc.

Une limite, commune à l'ensemble des indicateurs, est l'imprécision des évaluations. Il est souvent difficile de connaître la marge d'incertitude sur les données et les résultats, mais elle peut être élevée. Dans des domaines comme la thermique, il est possible de comparer les résultats d'un calcul à une facture énergétique ou à une mesure de température. Mais s'agissant d'émissions de CO₂, par exemple, la mesure ne peut s'effectuer que sur un procédé isolément, et non sur l'ensemble du cycle

(9) Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M. (2004) « *Overview and Methodology* », *ecoinvent report No. 1*, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Suisse.

(10) Guinée J. B., (final editor), Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H., Weidema B. P. : *Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards*; Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, 2001, 704 p.

(11) Forster, P.M. (2007) *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (ed), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.



Rénovation du Reichstag, à Berlin.

© Chien-Chi Chang/MAGNUM PHOTOS

de vie d'un bâtiment. Un premier niveau d'imprécision concerne l'évaluation des flux de matière et d'énergie (données d'inventaire). Un deuxième niveau correspond à l'agrégation en effets (impacts potentiels) : ainsi, par exemple, l'incertitude sur le potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre a été estimée à 35 %. Enfin, un troisième niveau concerne le passage des effets aux dommages (années de vie perdues, par exemple). Une autre cause d'erreur est liée à la durée de la période d'analyse. Il est, par exemple, difficile de prévoir l'évolution des techniques de traitement de déchets, en particulier pour la démolition, qui peut se produire à une échéance lointaine. Peut-être vaudrait-il mieux envisager une analyse statistique, basée sur des scénarios affectés d'une probabilité. Le caractère multicritères de l'évaluation nécessite enfin d'aborder la question des priorités, qui dépendent du contexte local (rareté de l'eau dans certaines régions, par exemple) et des choix des décideurs.

Pour mieux cerner ces limites, huit outils européens ont été comparés, dans le cadre du réseau thématique Presco. Dans l'exemple d'une maison suisse à ossature bois, la contribution à l'effet de serre calculée sur 80 ans diffère de +/- 10 %, selon les outils. Ces travaux

européens se poursuivent, dans le cadre de deux nouveaux projets : Enslic Building et Lore-LCA. L'un des axes de travail est la simplification des analyses. Contrairement aux produits industriels, un bâtiment est généralement construit en un exemplaire unique. Il est alors impossible de consacrer plusieurs mois d'études à une ACV, comme on le fait dans le cas d'un produit fabriqué à des milliers d'exemplaires.

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

Développé en 1995 dans le cadre de partenariats européen (projet REGENER) et national (avec notamment DUMEZ, maintenant dans le groupe VINCI), l'outil EQUER a été utilisé dans des projets, en construction neuve et en réhabilitation, dans les secteurs résidentiel, mais aussi tertiaire (bureaux, bâtiments scolaires...). Ces applications ont permis de montrer l'importance de la phase d'utilisation : dans une maison standard actuelle, par exemple, la phase de construction ne représente qu'environ 20 % de l'énergie consommée, contre 80 % pour l'utilisation (chauffage, eau chaude

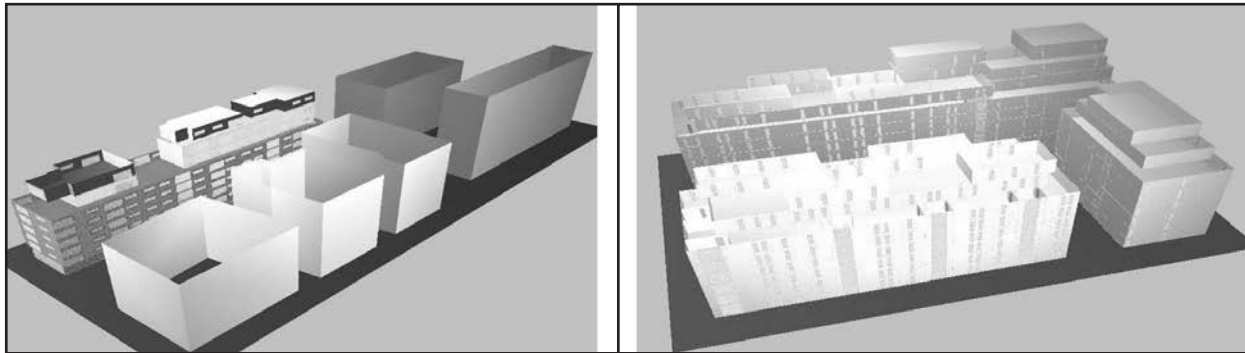


Figure 1 : Saisie informatique du projet, logiciel ALCYONE.

sanitaire, éclairage et autres usages de l'électricité). Pour une maison correspondant aux meilleures pratiques actuelles en termes d'efficacité énergétique (label allemand « maison passive »), la part de la construction atteint 50 %. Par rapport à une maison standard chauffée au gaz, la maison passive chauffée par pompe à chaleur émet 3,5 fois moins de CO₂, mais génère 30 % de déchets radioactifs en plus. La production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables (toiture photovoltaïque, par exemple) permettrait de réduire l'ensemble des impacts.

Ces études ont également fait apparaître l'influence du comportement des occupants sur la performance environnementale des bâtiments. L'éco-conception ne suffit pas : la fourniture de modes d'emploi serait nécessaire à une meilleure gestion du patrimoine bâti.

L'approche a été étendue à l'échelle d'un petit quartier, dans le cadre du projet européen Eco-housing, et du projet Adequa, comportant une application au quartier Lyon Confluence. Trois îlots ont été modélisés, repré-

sentant 60 000 m² logements, 15 000 m² de bureaux et 70 000 m² d'espaces verts.

La figure suivante montre un exemple de résultat où le projet est comparé à une référence correspondant au standard actuel de construction et aux meilleures pratiques. Chaque axe correspond à un indicateur, les variantes sont représentées en valeur relative par rapport à la référence : par exemple, les meilleures pratiques permettent de réduire d'un facteur 4 les émissions de gaz à effet de serre, mais le projet n'atteint pas tout-à-fait cet objectif.

La chaudière bois étudiée pour le projet émet des composés organiques volatils, avec des effets sur la santé et la biodiversité : un travail sur la dépollution des fumées serait donc utile. Cette étude a également montré l'influence de la conception architecturale : les besoins de chauffage peuvent varier d'un facteur 3, selon la compacité et l'exposition au soleil des bâtiments, d'où l'intérêt d'une approche dite « bioclimatique » et d'une conception intégrée, associant en amont architecte et ingénieur dans une démarche commune. Le bénéfice

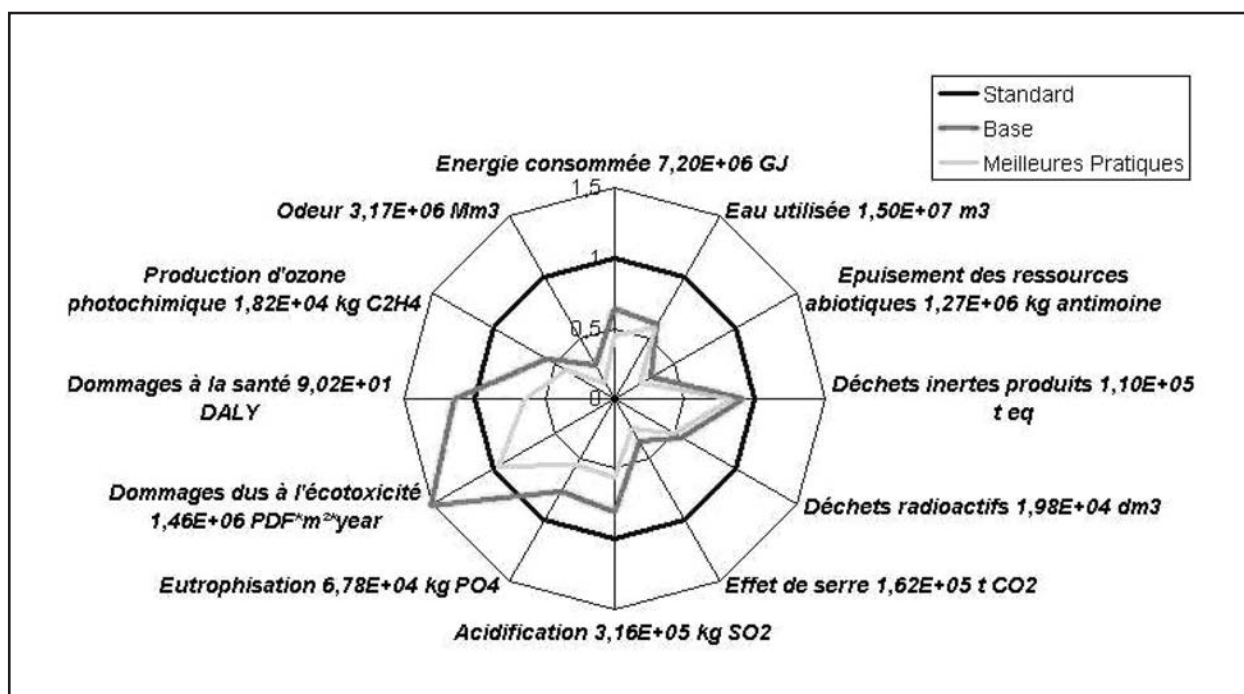


Figure 2 : Résultats de l'analyse de cycle de vie sur 80 ans, comparaison de variantes (logiciel EQUER).

environnemental de choix technologiques comme les énergies renouvelables, les économiseurs d'eau, la combinaison de matériaux selon leur inertie thermique, peut être quantifié, ce qui peut contribuer à promouvoir l'innovation. L'intérêt principal de l'ACV est de faire progresser l'ensemble des filières : il ne s'agit pas d'imposer un modèle unique de bâtiment.

Un travail important reste à faire pour améliorer la précision et la fonctionnalité de ces outils, mais les premières applications en montrent les potentialités. L'enjeu, en termes de préservation de l'environnement et de développements industriels, justifie des efforts, qui peuvent en partie être mutualisés grâce à des partenariats internationaux.

Vers des bâtiments à énergie positive

Avec l'entrée dans les faits du Grenelle de l'environnement, les bâtiments devraient passer progressivement de leur statut de premiers consommateurs d'énergie à celui de producteurs. Les enjeux techniques économiques et sociaux de ce changement de paradigme sont considérables.

par **Jean Christophe VISIER***

LE BÂTIMENT, PREMIER CONSOMMATEUR D'ÉNERGIE

42 % de l'énergie consommée en France est utilisée dans le bâtiment, qui contribue pour près de 23 % aux émissions de gaz à effet de serre. Le bâtiment est, de loin, le premier secteur consommateur, d'énergie.

En matière de politique énergétique, le bâtiment a été considéré comme un gros consommateur, auquel il fallait être capable de fournir l'énergie dont il avait besoin pour fonctionner. Les efforts de recherche ont été massivement ciblés sur la production, plutôt que sur l'utilisation de l'énergie.

LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE, LE STANDARD DE L'ANNÉE 2020

Aujourd'hui, les contraintes énergétiques et environnementales nous conduisent à chercher des solutions innovantes qui transformeront ces contraintes en opportunités.

Le bâtiment à énergie positive est l'illustration concrète de ces opportunités. C'est un bâtiment qui est capable, au cours d'une année, de produire autant d'énergie qu'il en consomme. Le changement est profond, puisque l'on passe d'un bâtiment consommateur à un bâtiment à la fois consommateur et producteur d'énergie.

L'idée qu'il est possible de réaliser des bâtiments à énergie positive et de les généraliser a fait des progrès fulgu-

rants. Début 2005, on en est aux articles de prospective (1). En 2007, le Grenelle de l'environnement fixe pour objectif leur généralisation (2). Les bâtiments à énergie positive, dont les premiers exemples sont construits en France aujourd'hui (3), seront le standard de la construction neuve, d'ici 2020. Cette vision ambitieuse est très proche de celle retenue notamment par le Royaume-Uni, ou encore de la vision stratégique du *Department of Energy*, aux Etats-Unis.

LES CLÉS D'UN BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE (4)

Un bâtiment à énergie positive est d'abord un bâtiment très efficace du point de vue énergétique, qui va consommer de 2 à 4 fois moins d'énergie qu'un bâtiment neuf actuel.

* Directeur énergie santé environnement, Centre scientifique et technique du bâtiment
Mail : Jean-christophe.visier@cstb.fr

(1) A. Maugard, D. Quenard, J.C. Visier, Le bâtiment à énergie positive, *Futuribles*, revue d'analyse et de prospective, n° 304, janvier 2005.

(2) http://www.legrenelle-environnement.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/Fiche_1.pdf

(3) Ecole : <http://www.limeil-brevannes.fr/dossiers/index.php?2007/04/18/14-ecole>,
maison : <http://www.cythelia.fr/lamaisonzen/accueil.html>,
bureau : http://www.bouygues-immobilier.com/jahia/Jahia/aboutus/espace_de_presse/pid/2407

(4) Une illustration des techniques
<http://www.cstb.fr/frame.asp?URL=bepos/animations.asp>

Les labels existants (5) en Allemagne, en Suisse et en Autriche ont déjà conduit à la réalisation de plusieurs milliers de bâtiments suivant ces principes. Le label Bâtiment Basse Consommation – Effinergie, lancé en France en 2007, vise les mêmes objectifs. Le Grenelle de l'environnement prévoit d'imposer, dès 2012, à tous les bâtiments neufs d'atteindre ce premier niveau.

Diverses technologies sont disponibles à cette fin : architecture bioclimatique, sur-isolation des parois, doubles vitrages revêtus de couches peu émissives ou triples vitrages, systèmes de ventilation récupérant la chaleur et faisant varier les débits d'air en fonction des besoins, pompes à chaleur, systèmes de gestion de l'énergie, chauffe-eau solaire... Un premier guide, réalisé par l'association Effinergie (6) à l'usage des professionnels, illustre la diversité des solutions utilisables dès aujourd'hui pour atteindre ce premier objectif.

Un bâtiment à énergie positive, c'est ensuite un bâtiment qui va capter de l'énergie, en particulier de l'énergie solaire, pour satisfaire les besoins de ses occupants. Un des enjeux technologiques majeurs est la généralisation du solaire photovoltaïque, dont les coûts baissent rapidement et qui permet de produire localement l'électricité nécessaire au bâtiment.

Des actions fortes allant dans ce sens ont été menées par des pays comme l'Espagne (en matière de solaire thermique) ou le Japon et les Etats-Unis (en matière de solaire photovoltaïque). Plusieurs dizaines de milliers de bâtiments équipés de toitures photovoltaïques ont ainsi été construits au Japon. Le marché décolle aujourd'hui en Allemagne et en Espagne, tandis qu'il démarre en France. L'association de solutions testées plutôt dans des pays froids (Allemagne, Suisse, Autriche) en matière de réduction des besoins en énergie et de solutions testées dans des pays ensoleillés (Japon) en ce qui concerne la production d'énergie nous conduit vers les bâtiments à énergie positive.

DES OPPORTUNITÉS VARIÉES

Le développement, puis la généralisation, des bâtiments à énergie positive ouvre un éventail de possibilités de développement économique. Quatre axes sont particulièrement importants :

- Le développement de nouveaux produits. Un bâtiment à énergie positive nécessite l'assemblage cohérent d'un ensemble de technologies. Ceci conduit des concepteurs de bâtiments et de grands industriels à travailler conjointement à l'émergence de ces nouveaux assemblages (7) ;
- Le développement de nouveaux services. La conception, puis l'exploitation, de ces bâtiments nécessitent de nouvelles compétences. Ceci conduit à la mise en place de nouvelles offres, portant non plus seulement sur la distribution d'énergie, mais sur la distribution de solutions associant économies, production locale et distribution d'énergie ;

- De nouvelles approches financières. Le bâtiment consommateur va devenir un bâtiment producteur, ce qui pose de manière totalement renouvelée la question du financement. Des organisations innovantes impliquant banques, industriels et grandes entreprises de construction se développent (8) ;

- La recherche et développement. L'innovation technique, financière, organisationnelle sera une des clés de la réussite des bâtiments à énergie positive. Entre les premiers bâtiments en cours d'émergence et ceux qui deviendront le standard de 2020, la recherche et développement a un rôle clé à jouer (9).

Cet article est focalisé sur l'illustration des travaux autour des produits, de leur mise en œuvre, ainsi que des besoins en R & D associés.

DES ISOLANTS ISSUS DES LABORATOIRES, OU DU MONDE AGRICOLE ?

L'isolation de la trentaine de millions de bâtiments existants est un défi considérable. On dispose aujourd'hui de techniques d'isolation très bien adaptées aux bâtiments neufs, mais qui ne répondent que d'une manière très imparfaite à la grande diversité des bâtiments existants. Pour les bâtiments de forme simple, tels les grands immeubles collectifs, la solution consiste souvent à recréer une peau extérieure, qui va permettre de faire vivre des façades tristes, tout en intégrant des isolants traditionnels en forte épaisseur. C'est la technique de l'isolation par l'extérieur. Cette technique s'adapte mal à des bâtiments dont la façade est plus complexe, plus originale ou située en limite de parcelle. On imagine mal, par exemple, de revêtir d'une telle peau extérieure la façade des bâtiments haussmanniens. La solution consiste alors à isoler le bâtiment en partant de l'intérieur. Une des difficultés importantes est alors la perte de surface habitable, si l'on veut installer un isolant traditionnel d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur, ce qui devient chose courante dans des bâtiments à basse consommation énergétique. Dans une maison de 100 m², on peut perdre jusqu'à 6 m² de surface habitable, ce qui est parfois difficilement acceptable. Les travaux de recherche et de développement visent à mettre

(5) Label allemand www.passivhaus.de, label suisse www.minergie.ch, label français bbc/effinergie www.effinergie.org

(6) Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie, guide publié par l'association Effinergie, téléchargeable à www.effinergie.org

(7) Deux exemples : maison individuelle <http://www.la-bonne-maison.com>, tour environnementale http://www.lafarge.fr/lafarge/CONTENT_SHEET/20060308/03072006-group-hypergreen_bilanguage-fr.wmv

(8) <http://www.gimelec.fr/Content/Default.asp?PageID=205>

(9) Une fondation de recherche <http://www.batiment-energie.org/>
Des projets ambitieux <http://www.schneider-electric.com/sites/corporate/fr/presse/dossiers/projet-homes.page>

au point des isolants nanostructurés comportant des cellules de taille inférieure au libre parcours moyen de l'air, ce qui a pour effet de réduire considérablement les pertes de chaleur. Les premières applications de ces nouveaux matériaux dans la rénovation sont en train d'apparaître.

Une autre voie forte d'innovation en matière d'isolation porte, non plus sur l'utilisation de matériaux très technologiques issus des laboratoires (tels que les isolants nanostructurés), mais sur celle de produits de l'agriculture ou de matériaux issus de filières de recyclage. Isolants en chanvre, en ouate de cellulose (issue du recyclage du papier), en laine de mouton, en plumes de canard, en fibre de bois, murs en paille... La

diversité de ces produits, issus généralement de filières locales, illustre le renouveau du recours aux ressources locales dans une industrie qui s'est fortement internationalisée au cours des décennies précédentes.

Une des conditions essentielles pour permettre un choix entre ces matériaux, est de fournir aux prescripteurs et aux consommateurs des informations objectives sur leurs performances et, notamment, sur leurs qualités environnementales. Une base de données a été mise en place à cette fin ; elle préfigure ce que pourrait être un étiquetage environnemental et sanitaire obligatoire pour tous les produits de construction (10).

VENTILATION : DE L'OUVERTURE DES FENÊTRES À LA DESTRUCTION DES VIRUS

Les systèmes de ventilation visent à obtenir dans les bâtiments un air de bonne qualité sanitaire, en éva-



© Pierre Gleizes/REA

La Bonne Maison, première maison de France label EFFINERGIE.

quant l'humidité et les différents polluants produits tant par les activités des occupants que par les matériaux présents dans les bâtiments. Comme l'air à l'intérieur des bâtiments est plus pollué que l'air extérieur (11), la solution traditionnelle consiste à remplacer cet air pollué par de l'air extérieur plus propre. Il suffit alors d'augmenter la vitesse à laquelle on renouvelle l'air pour en améliorer la qualité.

Des parois peu étanches, complétées par des fenêtres ouvertes régulièrement, ont, pendant des siècles, constitué le système de ventilation des bâtiments. Depuis la première crise de l'énergie, une première étape a vu d'abord se développer des systèmes de ventilation mécanique contrôlés, visant à maîtriser ce renouvellement d'air et à le rendre, par exemple, indépendant de la vitesse du vent extérieur.

La seconde étape a consisté à intégrer dans le système de ventilation des systèmes de régulation automatique. Basés sur la mesure de l'humidité dans les logements ou sur la mesure du CO₂ émis par les occupants dans les bureaux ou les écoles, ces systèmes adaptent les débits de ventilation à la pollution de l'air intérieur. Les industriels français ont développé en particulier des systèmes peu coûteux, qui modulent le débit d'air en fonction de l'humidité des logements. Ces systèmes, dits hygro-réglables, sont en train de devenir le standard dans les bâtiments neufs, rendant obsolètes les systèmes de ventilation dépourvus de régulation.

(10) Base de donnée sur l'impact environnemental et sanitaire des produits de construction www.inies.org

(11) Travaux de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur www.air-interieur.org

La troisième étape qui est en cours pour réduire les consommations d'énergie, vise à récupérer de la chaleur dans l'air sortant du bâtiment pour réchauffer celui qui y rentre. Il y a là une source de gain majeure, puisque l'on peut envisager de récupérer de l'ordre de 80 % de l'énergie de ventilation.

L'étape suivante, en cours de développement dans les laboratoires de recherche, vise à mettre en place des traitements de l'air permettant, non plus de remplacer l'air pollué par un air plus propre, mais de s'attaquer directement aux produits polluants en les captant ou en les inactivant (ainsi, des travaux de recherche visent, par exemple, à détruire certains virus aéroportés via le système de traitement de l'air).

DES SYSTÈMES DE PRODUCTION DE CHALEUR À L'ORÉE D'UNE RÉVOLUTION

Trois grandes techniques assurent la production de chaleur pour le chauffage des bâtiments actuels : la chaudière au gaz, la chaudière au fioul, le chauffage électrique par effet Joule. Après des décennies d'évolution, ces trois techniques arrivent au bout de leurs capacités de progrès, ouvrant le champ à des techniques nouvelles.

Les chaudières gaz et fioul ont vu leur rendement augmenter très fortement. Avec l'avènement des chaudières à condensation, qui récupèrent la quasi-totalité de l'énergie perdue dans les fumées, on arrive à la dernière étape de progrès en matière de performance thermique de ces techniques.

Les voies actuelles de recherche portent sur la possibilité de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. L'objectif est d'arriver à un rendement total chaleur+électricité meilleur que celui que l'on peut obtenir dans une centrale de production électrique, du fait de la possibilité de valoriser simultanément l'électricité et la chaleur produite. Les systèmes de cogénération, qui se sont fortement développés dans certains pays étrangers, peuvent être la voie permettant de dépasser les limites intrinsèques des chaudières à condensation.

Le chauffage électrique par effet Joule (échauffement d'une résistance parcourue par un courant électrique) a pris une place dominante dans le chauffage des logements neufs. Convecteurs électriques, panneaux rayonnants, planchers chauffants, plafonds chauffants... : ces systèmes de chauffage utilisent tous l'effet Joule pour transformer l'électricité en chaleur. Le rendement de transformation de l'électricité en chaleur étant dès l'origine de 1, les progrès ont porté sur le développement de systèmes de gestion performants permettant de fournir la chaleur nécessaire au confort des habitants, juste au moment et à l'endroit voulus. On est ainsi passé du « grille-pain » des années 70, bruyant, mal régulé et envoyant des trains de chaleur inconfortables, à des systèmes silencieux, bien gérés et

confortables... mais qui n'offrent plus guère de potentiel de progrès.

Suivant l'exemple de la Suède, qui utilise très fortement l'électricité pour le chauffage, la France voit se développer aujourd'hui un marché très important pour les pompes à chaleur. Celles-ci permettent de valoriser le potentiel de l'électricité de manière beaucoup plus efficace et intelligente qu'en la transformant en chaleur. Grâce aux pompes à chaleur, un kWh d'électricité peut permettre de disposer de 3 à 6 kWh de chaleur, 2 à 5 de ces kWh étant prélevés dans le milieu extérieur. Si l'on associe ainsi une centrale électrique, d'un rendement de l'ordre de 35 %, à des pompes à chaleur situées dans les bâtiments, on peut arriver à produire au total 1,05 à 2,1 kWh de chaleur dans les bâtiments pour chaque kWh de chaleur produit par la centrale. La chaleur, non valorisée (par exemple) au niveau d'une centrale nucléaire et envoyée dans l'environnement, étant plus que compensée par la chaleur prélevée dans l'environnement par la pompe à chaleur.

La pompe à chaleur apparaît alors comme un des moyens essentiels de progrès en matière de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Sa généralisation permettrait notamment d'exploiter très efficacement cette énergie très noble qu'est l'électricité. Cette généralisation constitue un enjeu industriel considérable pour l'industrie française, qui peut, si elle en saisit l'opportunité, s'appuyer sur un marché intérieur en très fort développement, pour prendre une place sur un marché sur lequel l'industrie japonaise est aujourd'hui très présente.

FAIRE DISPARAÎTRE LES APPAREILS ÉLECTRIQUES PEU COÛTEUX MAIS SUR-CONSOMMATEURS

Ces quelques exemples de progrès technologiques en cours doivent être associés à la résolution de quelques problèmes récurrents auxquels il n'a pas été apporté suffisamment d'attention jusqu'à ce jour.

La compétition entre industriels a conduit, pour plusieurs familles de produits utilisant l'électricité, à viser la baisse des prix de vente, plutôt que l'augmentation de la performance. Cela se traduit par la non-exploitation de potentiels importants d'économies d'énergie, dont le temps de retour serait de quelques dizaines de mois.

La paroi du chauffe-eau électrique est ainsi, aujourd'hui, la plus mal isolée des parois du logement. On y met deux fois moins d'isolant que sur un mur et quatre fois moins que sur un toit. Les technologies d'isolation sous vide pourraient trouver dans les chauffe-eau un domaine d'application idéal. Mais la recherche d'un coût d'investissement très faible conduit à produire des chauffe-eau qui perdent une part considérable de l'énergie qu'ils consomment.

Le ventilateur typique, utilisé pour ventiler une maison individuelle, a une puissance d'environ 50W. Les systèmes à courant continu, qui commencent à être utili-

sés en France, assurent le même service, avec une puissance électrique divisée par 3. Leur rentabilisation est extrêmement rapide, mais le basculement vers ces produits performants se fait, en France, avec un retard certain par rapport à l'Allemagne ou aux Pays-Bas.

Ce phénomène de sous-investissement se retrouve également dans le cas de nombreux appareils électroniques, dont les consommations en veille pourraient être fortement réduites, pour peu qu'on s'intéresse un tant soit peu au problème.

L'éco-conception de ces produits industriels ne pose pas de problèmes techniques particulièrement délicats. En revanche, elle ne sera possible que si l'on met en place des dispositifs permettant de sortir de la tyrannie du moindre coût d'investissement. Trois voies complémentaires sont envisageables : les accords entre industriels, visant à se concerter pour viser ensemble des produits plus performants, qui pourraient également être plus rentables ; les réglementations thermiques, par lesquelles l'Etat fixe des niveaux minimums pour entrer sur le marché ; et enfin, l'information des consommateurs sur les dépenses entraînées par l'utilisation des différents types de produits.

LES SYSTÈMES SOLAIRES THERMIQUES ET PHOTOVOLTAÏQUES, EN PASSE DE DEVENIR LE STANDARD

L'atteinte des objectifs décrits ci-dessus ouvre alors la voie à des bâtiments à énergie positive, via la généralisation des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques.

La réglementation thermique qui s'applique aux bâtiments construits en France depuis 2006 se base sur un bâtiment de référence muni d'un chauffe-eau solaire. Elle définit ainsi ce chauffe-eau comme la norme, et non plus comme l'exception. Alors qu'en Espagne il n'est déjà plus possible de déroger à cette obligation, cela reste possible, en France. Cela a ouvert la voie à la généralisation progressive d'un équipement encore jugé très exotique il y a peu, et dont les performances vont s'accroître, dans les années à venir.

Plus technologique et moins mature aujourd'hui, la technologie photovoltaïque, qui permet de produire localement de l'électricité, suit des courbes de progression très rapide, ce qui laisse penser qu'elle sera rentable

d'ici 2020. Un des enjeux majeurs pour l'Europe, qui est le marché aujourd'hui dominant pour l'utilisation du photovoltaïque, est de devenir le producteur dominant – une position qu'elle est loin d'avoir atteinte. Les actions de R & D industrielle ont un rôle majeur à jouer pour atteindre cet objectif.

Mais l'expérience malheureuse du développement de la pompe à chaleur dans les années 1980 montre que, pour réussir, il faudra associer d'une part une R & D sur les performances propres des capteurs photovoltaïques à, d'autre part, un travail considérable sur la performance de l'ensemble du système, son installation dans un bâtiment et la durabilité de cette performance dans le temps.

L'implication d'acteurs de la recherche technologique et de l'industrie sera un facteur clé de réussite dans l'évolution des produits. Mais, contrairement, par exemple, à la filière nucléaire, très centralisée, où un petit nombre d'acteurs d'une très grande compétence peuvent faire marcher de manière très efficace des systèmes d'une très grande complexité, l'enjeu du bâtiment à énergie positive est d'arriver à des systèmes extrêmement robustes et faciles à mettre en œuvre et à exploiter. L'atteinte de cet objectif ouvrira alors la porte à une installation en masse par les acteurs du bâtiment, pour lesquels le défi est à la fois considérable et très exaltant.

LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE : UN MYTHE EN PASSE DE DEVENIR RÉALITÉ ?

Les quelques exemples cités ici illustrent l'ampleur des travaux nécessaires pour aller vers des bâtiments à énergie positive.

Si l'on compare le défi posé ici avec les défis qu'ont été, en leur temps, le programme nucléaire ou le programme du TGV, on constate que l'enjeu n'est pas tant la difficulté technique que la capacité à mobiliser un grand nombre d'acteurs autour d'objectifs communs. Ce défi, sur lequel se mobilisent plusieurs pays industrialisés, est un défi d'un nouveau type, sur lequel l'industrie française a une carte à jouer, même si ce n'est pas forcément la partition dont elle a le plus l'habitude. Une des clés du succès sera très probablement une étroite coopération, entre acteurs industriels et acteurs de la construction.

Emballage – Environnement : bilan et perspectives

DES OUTILS, PROCESS ET
MÉTHODES EN QUESTIONS

L'impact des emballages sur l'environnement suscite toujours des réactions fortes dans l'opinion publique. Des progrès appréciables ont été obtenus au cours des dernières années, grâce à des mesures de simple logique et à l'évolution de la réglementation.

L'avenir de l'emballage passe par une éco-conception intégrant les effets environnementaux sur toute la chaîne logistique et sur toute la durée de vie des produits. Cela nécessite des outils d'analyse beaucoup plus élaborés, qui sont aujourd'hui en cours de développement.

par **Charles TISSANDIÉ*** et **Yannick KNAPP****

INTRODUCTION

La diminution de l'impact environnemental de l'activité industrielle est devenue un enjeu social et politique majeur. Cette prise de conscience générale crée une pression sociétale forte sur les entreprises, pour lesquelles elle représente désormais un enjeu économique et marketing fort. L'emballage cristallise cette demande : d'une façon plus ou moins fondée, il se retrouve au centre de ces polémiques nouvelles. Les consommateurs le voient de plus en plus comme un déchet, une gêne, et ils en oublient bien souvent les services qu'il a pu leur rendre.

Élément incontournable de liaison entre un produit et le consommateur, l'emballage remplit un grand nombre de fonctions (souvent mal identifiées par le consommateur), et il doit répondre à de très nombreuses contraintes : règles d'hygiène, aptitude au contact et sécurité alimentaire, traçabilité... Par ailleurs, en tant que composant annexe au produit, l'emballage doit en assurer la promotion, sans en augmenter significativement le coût.

C'est aussi un élément dont on cherche à se débarrasser au mieux, une fois ses fonctions remplies : il suscite alors toutes les passions environnementales. La valorisation des déchets d'emballage est ainsi l'objet de réglementations de plus en plus exigeantes. Aussi les plus récentes directives européennes en la matière incitent-elles les producteurs à optimiser leurs emballages en ayant recours à des méthodes d'éco-conception.

Alors même que les emballages ont, sous la pression des consommateurs, davantage évolué que tout autre produit, la mise en place précipitée, par effet de mode, de ces méthodes et la promotion des valeurs environnementales de l'emballage ne risquent-elles pas de déséquilibrer le bon sens qui a prévalu jusqu'ici dans l'innovation en la matière ? Trois exemples nous permettront d'illustrer ce risque :

- La bataille engagée par l'industriel Tetrapak en publiant une analyse comparative du cycle de vie de dif-

* Chef du département Génie du conditionnement et de l'emballage, IUT «A» de Toulouse III, Site de Castres.

** Chef du département Génie du Conditionnement et de l'Emballage, IUT d'Avignon.

férents emballages, qui affirme apporter la preuve de la supériorité de son produit sur d'autres types d'emballages. La réplique ne s'est pas fait attendre et un certain nombre de «réponses» ont déjà été publiées, qui mettent en avant les défauts et les erreurs de l'analyse publiée par Tetrapak. Alors même que les experts en matière d'éco-conception sont d'accord sur les difficultés d'interprétation de ce type d'analyse, comment le consommateur pourrait-il en percevoir les subtilités sans information préalable ?

- L'impact néfaste que peut avoir la promotion de la biodégradabilité des emballages auprès des consommateurs, qui induit indirectement des comportements d'abandon, au détriment d'une réelle valorisation en fin de vie. En effet, la biodégradabilité est très intéressante pour certains produits, mais la mise en place de collectes et la valorisation des déchets est souvent préférable : elles permettent en effet d'apporter une deuxième vie au produit, ou tout au moins au matériau concerné, ce qui en réduit quasi systématiquement les impacts environnementaux. Les grands efforts développés en matière de sensibilisation à la valorisation des déchets ne risquent-ils pas d'être ainsi mis à mal ? De plus, les matériaux qualifiés de biodégradables sont souvent non compatibles, en termes de recyclage, avec les matériaux traditionnels. Leur tri et leur valorisation spécifique doivent être mis en place et développés.

- La production de matériaux à base de végétaux, en substitution à des matériaux « classiques », qui détournent des matières premières alimentaires pour une utilisation industrielle non-alimentaire. Faut-il envisager de cultiver des ressources alimentaires (pomme de terre, blé...) pour en faire des emballages, alors même que la nourriture manque à l'échelle mondiale ?

Comme dans beaucoup de domaines, il n'y a pas, la plupart du temps, unicité de la solution, qui en fait dépend le plus souvent du contexte dans laquelle elle est mise en place. Un effort continu de sensibilisation et d'information du consommateur peut être la clé de l'évolution tant des comportements et de la perception des emballages que des emballages eux-mêmes.

LA PERCEPTION DES EMBALLAGES PAR LES CONSOMMATEURS

Chaque foyer jette en moyenne dix emballages par jour mais, par ailleurs, le tri sélectif s'est généralisé en France entre 2000 et 2007. En effet, le nombre de personnes concernées par la collecte a doublé depuis 2000 et s'élève aujourd'hui à 59 millions. Cette généralisation a changé la perception par les Français de la quantité d'emballage en circulation. Si ceux-ci ne représentent que 25 % du poids et 35 % du volume total des ordures ménagères, ce sont néanmoins eux qui sont majoritairement triés. Un sondage TNS-Sofres, élaboré en partenariat avec Eco-Emballage et

l'ADEME en septembre 2007, nous permet de mieux appréhender la problématique inhérente à l'emballage.

En effet, 46 % des Français, soit deux fois plus qu'en 2000, considèrent que les emballages sont « envahissants, qu'il y en a partout », et 34 % sont d'avis que l'on pourrait s'en passer, soit trois fois plus qu'en 2000. A contrario, selon la même étude, l'utilité des fonctions de l'emballage perceptibles par les consommateurs est en diminution. C'est ainsi que 41 % seulement des personnes interrogées, contre 65 % en 2000, considèrent que l'emballage est nécessaire pour « protéger, transporter le produit », et 6 % seulement, contre 22 % en 2000, sont d'avis que « sans lui, on ne pourrait plus rien acheter ni utiliser avec facilité ».

Cette évolution de la perception par les Français du rôle de l'emballage, qui est de plus en plus considéré comme uniquement destiné à faire vendre le produit, puis comme un déchet, une nuisance, occulte les fonctions que celui-ci peut remplir et son intérêt intrinsèque. En effet, dans l'alimentaire, par exemple, n'est-il pas plus intéressant de permettre la consommation de 95 % des produits plutôt que d'une infime partie ? Est-il plus – ou moins – impactant sur l'environnement de boire un jus d'orange pressé à partir de fruits frais importés du Maroc, que de boire ce même jus pressé et conditionné au Maroc, puis importé dans son conditionnement ?

Une autre étude permet de bien appréhender la différence entre la perception des consommateurs et l'impact environnemental réel des emballages : l'European Aluminium Foil Association (EAFA) a fait réaliser une analyse de cycle de vie (ACV) par ESUservices Limited en Suisse, sur les impacts relatifs du contenu et du contenant pour des plaquettes de beurre, et ceci depuis la production du lait pour le beurre jusqu'au réfrigérateur du consommateur. Cette étude a été réalisée sur deux formats : la portion individuelle de 15 grammes et la plaquette de 250 grammes, toutes deux emballées dans un complexe aluminium. L'étude montre que l'impact environnemental de l'emballage est très faible, par rapport à celui de la production de lait, au point que l'impact total est très voisin pour les deux conditionnements. Il est intéressant de voir que les impacts environnementaux dus à l'émission de méthane par les vaches et à l'utilisation d'engrais dans les champs, sont plus importants que ceux liés à la distribution (qui ne sont pourtant pas négligeables, du fait de la consommation d'énergie pour le stockage à température contrôlée) et aux émissions de gaz réfrigérant.

Ces exemples ne minimisent toutefois pas le fait que les emballages sont cause de pollutions. Ils représentent en effet 5 % des déchets totaux et sont responsables de 2 % des émissions des gaz à effet de serre et de 2 % des pluies acides. Il faut donc, bien sûr, s'améliorer et les optimiser, mais cela ne suffira pas.

LA RÉALITÉ – CE QU'EST UN EMBALLAGE

Même si, dans l'absolu, un emballage est un objet/système mal perçu, il est pourtant défini par la directive européenne 94/62/CE où ses champs d'application sont précisés. On entend ainsi par emballage « tout produit constitué de matériaux de toute nature, destiné à contenir et protéger des marchandises données, allant des matières premières aux produits finis, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et en assurer leur présentation ». Tous les articles « à jeter » utilisés aux mêmes fins doivent être considérés comme des emballages. L'emballage est uniquement constitué de :

- l'emballage de vente ou emballage primaire, c'est-à-dire l'emballage conçu de manière à constituer, au point de vente, une unité de vente pour l'utilisateur final ou le consommateur ;
- l'emballage groupé ou emballage secondaire, c'est-à-dire l'emballage conçu de manière à constituer au point de vente un groupe d'un certain nombre d'unités de vente, qu'il soit vendu tel quel à l'utilisateur final ou au consommateur, ou qu'il serve seulement à garnir les présentoirs du point de vente (il peut être enlevé du produit sans que cela en modifie les caractéristiques) ;
- l'emballage de transport ou emballage tertiaire, c'est-à-dire l'emballage conçu de manière à faciliter la manutention et le transport d'un certain nombre d'unités de vente ou d'emballages groupés, en vue d'éviter leur manipulation physique, ainsi que les dommages liés au transport...

Parmi les différentes fonctions que remplissent ces emballages, on distinguera :

- des fonctions de service ou d'usage, parmi lesquelles on peut retrouver les fonctions de contenant et de protection, mais aussi celles de conservation et de facilitation d'accès au produit, d'information, de sécurisation, de traçabilité, etc. ;
- des fonctions marketing, qui visent à attirer le client, à mettre en valeur le produit ou à le différencier de la concurrence ;
- des fonctions d'adaptation ou contraintes, telles que l'adaptation du produit à la mécanisation, au circuit logistique et de distribution, ou à la réglementation.

On considère qu'environ 100 milliards de produits emballés, de consommation courante, alimentaires et non alimentaires, sont mis sur le marché chaque année et ces quantités progressent constamment, au fil des ans, du fait de l'évolution des modes de consommation. En France, la population a augmenté de 21 % depuis 1975, et la taille des ménages est passée de 3,1 personnes en moyenne en 1970, à 2,3 personnes en 2005. Le nombre de personnes vivant seules a, quant à lui, doublé depuis 30 ans : il représente aujourd'hui 12,6 % de la population.

Ces quelques chiffres illustrent bien l'évolution de la structure de la société française. Si, en parallèle, on considère que les emballages (alimentaires, par

exemple) servent à conserver et protéger les produits, mais qu'ils doivent aussi adapter leur contenance aux besoins des consommateurs, alors on comprend que le nombre d'emballages mis sur le marché chaque année soit en constante augmentation.

Les produits de la crèmerie représentent ainsi 17,6 % des achats des produits de grande consommation (PGC) par les consommateurs en hypermarchés, supermarchés et magasins « *hard discount* » (source : Nielsen/Scantrack, cumul mobile à fin août 2006). Un peu plus de 8 % de ces achats concernent l'ultra-frais. La consommation de produits laitiers ultrafrais en hypermarchés et supermarchés s'est élevée à 1,395 millions de tonnes en 2006 (source : IRI/Census, cumul annuel à fin septembre 2006), dont environ 37 % pour l'ensemble des yaourts, 38 % pour l'ensemble des fromages frais et 25 % pour l'ensemble des desserts frais. La consommation de ces produits est globalement en évolution positive depuis une trentaine d'années.

Cette évolution structurelle de la société est donc couplée à une évolution des modes de consommation. De plus en plus de femmes travaillent, la consommation hors domicile augmente (nomadisme) et l'apparition de nouveaux produits préparés entraîne aussi un accroissement de la consommation, y compris des produits en portions individuelles. Mais, devant cette surconsommation d'emballages, on peut se poser la question de savoir s'il ne vaut pas mieux avoir une augmentation du nombre d'emballages utilisés afin de garantir une utilisation optimale des ressources, et diminuer d'autant les pertes de denrées alimentaires.

Ces emballages suscitent une réaction forte de l'opinion publique en matière d'écologie, et ils font l'objet de débats récurrents, alors même que, par exemple, l'emballage plastique ne représente que 1,5 % de l'utilisation du pétrole. C'est donc seulement la partie « visible » de l'iceberg qu'on essaye de réduire/combattre.

De plus, force est de constater que les solutions mises en place par certains industriels pour répondre aux problèmes des emballages ne sont pas très suivies par les consommateurs. Ainsi, selon une étude Louis Harris de novembre 2005, la position des écorecharges (berlingots concentrés) sur le marché des assouplissants est d'environ 20 %, alors que 57 % des personnes interrogées déclarent en faire l'achat. L'acceptabilité des solutions doit donc bien se mesurer en comportements concrets, et non pas en nombre d'intentions déclarées.

Notons enfin que, bien que le nombre d'emballages mis sur le marché soit en constante augmentation, leur tonnage, quant à lui, se stabilise. La pression réglementaire, la pression économique et les pressions sociétales ont poussé les entreprises du secteur de l'emballage à faire des efforts, qui se chiffrent à 25 millions d'équivalents CO₂ économisés au cours des dix dernières années.

LA RÉGLEMENTATION, PRINCIPAL MOTEUR DE LA RÉDUCTION DES EMBALLAGES

L'emballage est donc principalement perçu comme un élément dont on cherche à se débarrasser au mieux, une fois sa fonction remplie. Devant leur augmentation constante, la valorisation des déchets d'emballage fait l'objet de réglementations de plus en plus exigeantes. La Commission Européenne a ainsi élaboré des directives s'adressant à tous les acteurs de l'emballage : producteurs, distributeurs, mais aussi consommateurs, contribuables et citoyens, et les plus récentes directives européennes en la matière incitent les producteurs à optimiser leurs emballages en ayant recours à des méthodes d'éco-conception.

Les directives 94/62/CE et 2004/12/CE relatives aux emballages et aux déchets d'emballages définissent trois exigences essentielles, préalables à la mise sur le marché de tout emballage :

- la diminution des teneurs en métaux lourds et autres substances dangereuses dans les divers constituants de l'emballage ;
- la réduction au minimum strictement nécessaire du poids et du volume de l'emballage, et ce, dès sa création ;
- la possibilité d'offrir une valorisation en fin de vie.

Sur ce dernier point, les directives fixent des objectifs en matière de valorisation et de recyclage, à atteindre par l'ensemble des États membres au 30 juin 2001, puis à échéance de fin 2008. La France a répondu à ces objectifs : elle affiche un taux de recyclage de 51 % et un taux de valorisation de 61 %. Ces résultats placent la France au troisième rang (derrière l'Allemagne et l'Italie, mais devant le Royaume-Uni et l'Espagne) de l'Union européenne à 25 membres. Ainsi, on constate que le secteur des emballages fait office de précurseur, en matière de respect de l'environnement, et on retrouve aujourd'hui, dans d'autres filières, des mesures de prévention et de valorisation initiées par le secteur de l'emballage.

La pression exercée sur la fin de vie des emballages a eu aussi un impact non négligeable sur le reste de leur cycle de vie. Le point relatif à la réduction à la source a, par exemple, fait «maigrir» significativement les bouteilles d'eau en PET (format 1,5 litre). En 10 ans, leur poids moyen est passé de plus de 45 g à environ 35 g, soit une baisse de plus de 20 %. Outre le fait que cette réduction a un impact non négligeable sur la consommation de matières premières, elle a aussi un impact sur la chaîne logistique, par la réduction des masses transportées pour une unité fonctionnelle donnée (ici, la fourniture d'une quantité donnée d'eau minérale).

On voit alors que les déchets, et plus particulièrement ceux de l'emballage, facilement identifiés comme ayant un impact sur l'environnement, ne regroupent pas l'intégralité des pollutions. En effet, suivant la norme ISO 14040, on considère qu'un impact potentiel est la conséquence attribuable aux flux entrants et sortants d'un système. Ainsi, peu de consommateurs se soucient

de ce qui se passe à l'amont de leur problématique « déchets », alors même que leur production consomme de l'énergie et des matières premières ; l'analyse du cycle de vie prend alors tout son sens.

L'ÉCO-CONCEPTION, AVENIR DE L'EMBALLAGE

L'éco-conception est aujourd'hui considérée comme la méthodologie incontournable permettant de faire évoluer les emballages. Cette méthode consiste, de manière préventive, à intégrer l'environnement à toutes les phases (et le plus en amont possible) du développement d'un produit (au même titre que les autres critères : qualité, coût, délai, sécurité, santé, etc.), afin de contrôler et de réduire les impacts environnementaux à toutes les étapes du cycle de vie du produit, tout en conservant ses fonctionnalités.

Cette méthodologie promeut une approche multicritères (tous les impacts environnementaux sont examinés), multi-étapes (toutes les phases du cycle de vie sont examinées) et multi-acteurs (tous les acteurs de l'entreprise et du marché sont sollicités). Il n'existe toutefois pas de démarche universelle, à l'image du processus de conception lui-même ; malgré l'existence de nombreux points communs (inscrits dans la norme), celui-ci se décline de façon très différente selon les secteurs industriels, voire les entreprises d'un même secteur.

Un modèle minimum pour une méthodologie de conception pourrait toutefois regrouper les phases suivantes :

- une phase de définition fonctionnelle, qui permette de préciser non seulement les fonctions que doit remplir l'objet, mais aussi les contraintes qu'il doit subir ;
- une phase de définition conceptuelle, qui permette de préciser quels principes physiques vont être utilisés pour satisfaire les fonctions précédemment identifiées ;
- une phase de conception préliminaire, qui permette de préciser quels éléments sont requis pour réaliser les principes physiques précédemment identifiés ;
- une phase de définition détaillée, qui permette de décrire au niveau le plus bas les interactions entre les pièces et leur mode de production.

Le cycle de vie du produit continue alors avec les phases de réalisation/production, puis de mise en œuvre/usage, de maintenance, si nécessaire, et, enfin, par une phase de valorisation/fin de vie/réutilisation.

La démarche d'éco-conception propose donc l'intégration de l'environnement dans l'ensemble de ces phases. Ainsi, toute démarche de conception, et a fortiori d'éco-conception, doit d'abord clairement identifier les motivations de la conception. Si on s'en réfère à un processus habituel de développement/conception d'un produit tel que décrit ci-dessus, la première étape est, de loin, la plus importante. On cherchera en effet à identifier les opportunités d'évolution offertes par cette démarche d'éco-conception tant sur des critères internes (amélioration de la qualité des produits, rédu-

tion des coûts, amélioration de l'image, de l'estime de l'entreprise et de ses produits, amélioration de la collaboration et de la communication entre les services, pré-argumentation concurrentielle...) que sur des critères externes (pression sociétale, mise en conformité avec la réglementation, pression directe de la clientèle...). La maîtrise des impacts environnementaux peut ainsi devenir le thème qui va permettre de définir les grandes orientations stratégiques d'un produit, mais aussi de toute l'entreprise. L'analyse de la valeur (AV) est ici l'outil privilégié qui permettra la meilleure définition de l'ensemble de ces motivations. La clarification de la motivation profonde de la démarche permet aussi de définir les ambitions du déploiement de la méthode – un seul produit, une gamme complète, un nouveau produit... –, et, donc, de préciser l'unité fonctionnelle qui sera analysée. On entend par là « l'expression quantifiée d'une unité de service », qui sera, bien évidemment, associée à une durée de vie et une durée d'utilisation effective. Ces précisions permettront en particulier d'orienter les choix de conception, en maintenant le même niveau de fonction (ou en l'augmentant), tout en ayant un effet sur les durées de vie et d'utilisation. Ces définitions permettront aussi d'avoir une première vision/perception des flux élémentaires qui alimentent le système tant en entrée (énergie, matières premières, ressources naturelles...) qu'en sortie (énergie, matières, déchets...). La notion d'impact environnemental prendra également ici un premier sens : dégâts sur les écosystèmes, consommation d'énergie, émissions de gaz (en particulier CO₂), pollution des eaux, déchets...

Ainsi, cette première phase d'analyse de la demande permet, outre la sensibilisation des équipes aux notions élémentaires du cycle de vie, d'obtenir un premier positionnement « environnemental » du produit, voire, si on travaille à l'évolution d'un produit existant, une première évaluation environnementale.

Processus itératif par nature, la conception des produits peut alors être abordée à partir de cette première définition et il est possible de mettre en place différents types de démarches d'éco-conception. Même si on peut difficilement définir des frontières nettes entre les différentes démarches, on peut les regrouper en trois grandes familles :

1. Les démarches à dominante quantitative

Approche multicritères, multi-étapes et multi-acteurs par excellence ; on s'attache dans ce type de démarche à faire l'analyse complète du cycle de vie (ACV), telle que définie par la norme ISO 14040. On prend en compte ici l'intégralité détaillée des flux élémentaires qui contribuent à la réalisation du produit (ou du service) défini par l'unité fonctionnelle. Cette analyse scientifique permet alors de quantifier « exactement » quels impacts sont générés, dans quelle phase du cycle

de vie, et ainsi d'identifier clairement les phases du cycle de vie et les impacts environnementaux sur lesquels il est préférable d'agir. Cette analyse, fondée sur un recueil de données sur sites ou sur des bases de données d'ACV, ne donne toutefois pas d'indication sur les actions à mener. Elle permet de comparer différentes options de conception, souvent au prix d'un travail assez considérable, et par exemple d'identifier si ces options ne conduisent pas à des transferts de pollution. Du fait de la nécessité d'avoir accès et de compiler de grandes quantités d'informations, ce type de démarche est basé sur des outils informatiques, et il est souvent réservé à des cabinets conseils spécialisés en la matière (et susceptibles d'amortir financièrement l'accès à ces données et leur utilisation). Sauf cas particuliers, ces démarches sont, pour ces raisons, souvent limitées à une application « unique », les entreprises ne pouvant souvent que faiblement capitaliser ce type de démarche.

2. Les démarches semi-quantitatives

Dans ce type de démarche, on procède à l'équivalent d'une analyse de cycle de vie, sur une partie des données associées aux flux élémentaires et au cycle de vie. On utilise généralement des questionnaires simplifiés et des grilles d'analyse limitant la recherche de données aux impacts environnementaux et aux étapes du cycle de vie qui paraissent prépondérants. D'une appropriation facile, ce type de démarche est toutefois très dépendant des utilisateurs ; l'importance des pollutions et des étapes « les plus importantes » peuvent avoir des significations assez diverses. Pour limiter les dérives possibles et assister les usagers de ce type de démarche, de nombreuses structures para-professionnelles (comme le Conseil National de l'Emballage, pour ne citer que celle-ci) ont mis au point des questionnaires et des grilles d'évaluation-types.

3. Les démarches à dominante qualitative

C'est la démarche à privilégier lorsqu'il est difficile d'accéder à des données d'ACV. Cela peut se produire lorsque ces données sont indisponibles, par manque de connaissances, mais aussi lorsque la structure industrielle n'est pas en mesure de les fournir. C'est particulièrement le cas pour les entreprises de petite taille, dans lesquelles l'ensemble des processus n'est pas parfaitement connu (ces entreprises ont d'ailleurs souvent du mal à structurer leur conception de produit). Ces démarches s'appuient alors sur des outils très simplifiés, tels que des check-lists ou des recommandations d'ordre général. On peut aussi faire appel à un expert, qui définit un système d'évaluation simplifié, propre au produit en développement, spécifique à la catégorie de produits étudiée, ce système étant mis à la disposition

du concepteur, qui dispose alors d'un outil lui permettant d'orienter son travail et ses choix.

Il va de soi que ces méthodes n'ont pas la même efficacité en termes d'évaluation et d'aide à la conception. Les démarches à dominante quantitative permettent une évaluation très poussée d'un produit, mais ne constituent pas une grande aide à la décision pour le concepteur. À l'autre extrémité, les démarches à dominante qualitative sont souvent d'excellents outils d'aide à la décision, mais elles ne permettent pas de faire une évaluation de leurs effets. La faiblesse de ces méthodes sur ce point va même jusqu'à permettre d'ignorer certaines étapes du cycle de vie d'un produit (c'est le cas de recommandations d'actions trop fortement liées à la fin de vie, par exemple).

LES ANALYSES DE CYCLES DE VIE : ACV

La tendance actuelle en matière d'emballage fait la part belle à la démarche de type ACV, alors même qu'elle est la plus complexe, que ses résultats suscitent la controverse, ne serait-ce que parce que ce n'est pas un outil de conception, mais simplement un outil de mesure, et qu'elle fait appel à des ressources externes à l'entreprise (sauf dans de rares cas, où les entreprises ont une taille suffisamment importante). L'ACV est une méthode d'évaluation : elle est très performante quand il s'agit de comparer entre eux deux produits ou deux procédés, car elle permet de mettre en évidence le moins impactant des deux dans un contexte donné. Toute la problématique des ACV vient de l'incertitude générée par les hypothèses initiales. En effet, on peut influencer le résultat final par les hypothèses de départ et les choix effectués tout au long de l'étude. Et, ce, malgré le fait que la démarche impose de consigner par écrit tous les choix effectués, ainsi que leur validation par des experts extérieurs. On se rend bien compte que, dès que l'on fait des études générales, celles-ci génèrent des polémiques portant, bien souvent, sur le domaine de l'étude et les différentes hypothèses. La seconde limite que l'on peut trouver aux ACV est liée aux indicateurs : justesse des bases de données, impacts différents des produits en fonction des indicateurs, dangerosité d'en privilégier certains, ce qui entraîne des transferts de pollution : en effet, comment décider s'il vaut mieux polluer l'eau, ou l'air ?

Même si l'ACV est la méthode la plus efficace et la plus crédible pour évaluer l'impact environnemental d'un produit ou d'une activité, ces évaluations sont donc entourées d'incertitudes entraînant des divergences dans l'interprétation des résultats.

De plus, cette méthode fait oublier que la conception (et *a fortiori* l'éco-conception) est un travail itératif, qui permet l'amélioration continue d'un produit ou d'un service.

Enfin, le coût des ACV, qui peut varier de quelques milliers à quelques centaines de milliers d'euros (on

parle de 100 000 euros pour la dernière ACV « Tetrapak »), les rend quasiment inaccessible aux PME/PMI, qui composent le gros du tissu industriel en France.

Les analyses de cycles de vie sont des éléments d'appréciation importants et elles peuvent permettre une évaluation de l'impact environnemental d'un produit. Mais leur complexité fait oublier que, quels que soient l'unité fonctionnelle et le système de production mis en œuvre, la diminution d'un impact, quel qu'il soit, sans dégradation de la fonction et sans transfert de pollution, améliore la qualité environnementale d'un produit. Et pour atteindre ce but, il existe de nombreuses stratégies, qui peuvent se résumer dans la réalisation de sept objectifs :

- Réduire la quantité de matière nécessaire au produit ;
- Réduire la quantité d'énergie nécessaire au produit tout au long de son cycle de vie ;
- Réduire la toxicité (c'est un paramètre bien maîtrisé dans les pays occidentaux, du fait d'une réglementation assez réactive) ;
- Augmenter la recyclabilité du produit ;
- Augmenter l'utilisation de ressources renouvelables ;
- Augmenter la durée de vie du produit, et, enfin :
- Augmenter le service rendu par le produit

Il n'y a pas de classement pour ces objectifs, ni de critères quantitatifs : chacun d'entre eux doit être pris en compte lors de la conception du produit.

Il est donc plus que jamais nécessaire de créer des outils plus adaptés à la phase de conception des emballages et qui soient accessibles aux PME, permettant à chacune d'essayer d'agir sur les principaux leviers identifiés, afin d'optimiser ses systèmes d'emballages.

Ces principaux leviers sont : la conception du produit (par exemple, modification des concentrations des lessives) ; le procédé de conditionnement (par exemple, modification des systèmes de conditionnement pour limiter les poids dans les emballages) ; la conception de l'emballage (meilleure identification des fonctions de l'emballage et rationalisation de celles-ci) ; la simplification du système d'emballage (la remise en cause et l'analyse fonctionnelle des éléments constituant le système d'emballage peuvent conduire à en réduire le poids, en réaffectant les fonctions et en simplifiant en conséquence l'emballage grâce à la suppression d'un élément) ; l'optimisation dimensionnelle de l'emballage (changement de forme, optimisation volumétrique de l'emballage, ou réduction d'épaisseur) ; l'évolution du matériau (à l'intérieur d'une même famille de matériaux, les innovations et les progrès techniques peuvent permettre d'alléger l'emballage, à performance identique ou supérieure) ; la mise en œuvre du matériau (l'amélioration des techniques de transformation du matériau autorise des gains de matière lors de la fabrication des emballages) ; l'optimisation logistique (l'expérience montre que l'intérêt économique va généralement de pair avec le bénéfice environnemental).

CONCLUSION

L'emballage est actuellement au cœur des débats environnementaux. Les pressions politiques et sociétales ont déjà considérablement fait évoluer le secteur et, même si une guerre du marketing entre les différents types d'emballages s'engage, nous nous rendons bien compte que ceux-ci sont nécessaires. Cette pression conduit à la nécessaire adaptation des différents systèmes d'emballage et de conditionnement à de nouvelles contraintes. Après une première phase, durant laquelle la simple logique a permis de faire de grands progrès en agissant sur les leviers les plus évidents – optimisation des volumes pour augmenter le nombre d'unité de vente par camion, et ainsi optimiser le circuit logistique, diminution du poids des emballages, etc. –, nous arrivons maintenant à un point critique, où les pistes d'évolution vont être plus difficiles à trouver. Si la première phase a permis aux sociétés de coupler gains environnementaux et gains économiques, la deuxième phase risque de demander des investissements importants de leur part. Même s'il apparaît très clairement

que les emballages sont indispensables à une bonne consommation des produits, les méthodes de conception permettront de remettre en cause les fonctions attendues et leurs niveaux d'acceptabilité, afin, là encore, de les optimiser ; la prise en compte des critères environnementaux et leurs évaluations possibles permettra de réaliser encore quelques gains, si des outils adaptés aux besoins réels des entreprises sont développés et mis en œuvre.

Cependant, le levier essentiel de l'évolution reste le consommateur : c'est à lui, de faire la différence entre les différents produits, c'est à lui, de faire le tri entre les aspects purement marketing d'un produit et le réel gain que celui-ci amène. C'est aussi à lui, d'agir pour la réutilisation des matériaux, car les industriels sont pragmatiques et ils iront vers ce qui leur permettra de vendre au mieux, dans un cadre législatif donné. Un effort tout particulier pour sensibiliser et éduquer le consommateur et promouvoir la prévention et la réduction de l'impact global des emballages sur l'environnement est donc nécessaire. Pour cela, il est important d'arriver à poser les bases d'un débat sain, loin des intégrismes environnementaux et des différents lobbies.

Analyse de cycle de vie et éco-conception : les clés d'une chimie nouvelle

Les processus d'innovation de l'industrie (et en particulier de l'industrie chimique) sont aujourd'hui en mutation. Ils doivent désormais intégrer l'éco-conception du produit ou du procédé. Dans cette approche, l'ACV (Analyse de Cycle de Vie), outil jusqu'à maintenant utilisé pour identifier les impacts environnementaux, ne suffit plus. Il faut désormais un nouvel outil, intégré au processus d'innovation, un outil de pilotage de l'éco-conception qui soit utilisable par les PME.

par **Sylvain CAILLOL***

LA CHIMIE MOBILISÉE FACE À DES BOULEVERSEMENTS

Notre société a pris conscience tout récemment – à l'échelle de l'humanité – qu'elle hypothéquait son avenir collectif pour satisfaire son appétit de richesses individuelles. Tant que nous n'étions que quelques centaines de millions d'habitants sur Terre à nous partager la majorité des richesses (et à générer, par voie de conséquence, la majeure partie des pollutions anthropiques), l'équilibre – critiquable, certes – se maintenait – les lois de Pareto sont ainsi faites. Mais avec l'arrivée dans les dernières années de près de trois milliards d'individus (Indiens, Chinois...) qui prétendent – fort justement – à un niveau de consommation élevée, la communauté internationale en appelle au développement durable pour permettre d'instaurer un nouvel équilibre, durable celui-là. En effet, quel sens cela a-t-il, de compter en nombre de « Terres » nécessaires dans l'avenir pour répondre aux niveaux de consommation actuels ? Si

tous les habitants de la Planète avaient le même niveau de consommation que les Occidentaux, il nous faudrait donc disposer de trois Terres ? De cinq Terres ? Davantage ? Alors que nous faisons, depuis très récemment le constat que nous ne « disposons » même pas de l'unique Terre qui nous porte.

Les leçons de l'Île de Pâques

La dramatique histoire du peuple Pascuan est aujourd'hui plus que jamais d'actualité. Colonisée initialement par une petite trentaine de Polynésiens, l'Île de Pâques connut une population de plus de sept mille habitants à l'apogée de sa civilisation, dans les années

* PhD – Chef de Projet CNRS Environnement et Développement Durable
Délégué Général de la Chaire de Chimie Nouvelle pour un Développement Durable – ChemSuD
Chef de Projet Fédération Française pour les Sciences de la Chimie – FFC
Sylvain.caillol@enscm.fr

1500. Les Pascuans tiraient des arbres de leurs forêts la majeure partie de leurs ressources : énergie (chauffage et cuisine), construction (habitations et bateaux), armes et filets pour la chasse et la pêche, amendement organique pour l'agriculture. L'essor de la population les conduisit à réduire les surfaces forestières pour les convertir en lieux d'habitation et en sols cultivables. L'arbre est certes une ressource renouvelable, mais l'échelle de temps n'est pas négligeable... En quelques décennies, l'accroissement des cultures agricoles appauvrit la terre, la réduction de la surface forestière conduisit à l'érosion des sols, la ressource forestière se raréfia. Par ailleurs,

sur la vie quotidienne de la population. Ainsi la pénurie d'arbres contraignit bien des gens à ne plus construire des maisons en planches mais à vivre dans des grottes et, quand environ un siècle plus tard le bois finit par manquer totalement, tout le monde dut se rabattre sur des habitations troglodytes creusées au flanc des collines ou de frêles huttes en roseaux taillés dans la végétation qui poussait en bordure des lacs de cratère. Plus question de bâtir des canoës : les embarcations en roseau ne permettaient pas d'entreprendre de longs voyages. La pêche devint aussi plus difficile car le bois de mûrier avec lequel on fabriquait les filets n'existait



© Daniel Frasnay/AKG-images

Ile de Pâques – Statues monolithiques.

nombre d'arbres furent coupés pour ériger les quelque six-cents colosses de pierre qui devinrent les témoins de l'extinction de cette civilisation.

En effet, la pénurie d'arbres se poursuivit jusqu'à la disparition complète de cette ressource. L'impact social et culturel du déboisement fut très important. L'impossibilité d'ériger de nouvelles statues dut avoir un effet dévastateur sur les systèmes de croyances et d'organisation sociale et remettre en question les fondations-mêmes sur lesquelles s'était édifiée cette société complexe. Mais la déforestation de l'île ne sonna pas seulement le glas de toute vie sociale ou religieuse un peu élaborée : elle eut également des effets dramatiques

plus. La disparition de la couverture boisée appauvrit encore le sol de l'île, qui souffrait déjà d'un manque d'engrais animaux convenables pour remplacer les éléments nutritifs absorbés par les cultures. L'exposition accrue aux intempéries aggrava l'érosion et fit rapidement chuter le rendement des cultures. Les poulets devinrent la principale source de ravitaillement. A mesure que leur nombre augmentait, il fallut les protéger du vol. Mais ils ne pouvaient suffire à faire vivre sept mille habitants, et la population déclina rapidement. A partir de 1600, la société décadente de l'Île de Pâques régressa vers un niveau de vie toujours plus primitif. Privés d'arbres et donc de canoës, les insulaires se

retrouvaient prisonniers, à des milliers de kilomètres de leur patrie natale, incapables d'échapper aux conséquences de la débâcle de leur environnement, dont ils étaient eux-mêmes responsables.

Ainsi, quand l'amiral hollandais Roggeveen débarqua sur cette île – le premier Européen à y poser le pied le dimanche de Pâques 1722 –, il découvrit une société primitive de quelque trois mille individus qui vivaient dans de misérables huttes de roseau ou dans des grottes, en état de guerre quasi permanent et contraints de pratiquer le cannibalisme pour améliorer les maigres ressources alimentaires disponibles.

Cet exemple historique nous permet d'insister sur l'importance de l'utilisation raisonnée de nos ressources, quelles qu'elles soient, dans la mesure où la notion de capacité de renouvellement de toute ressource est intimement assujettie à la vitesse de sa consommation.

Les nouvelles contraintes qui pèsent sur la chimie

Actuellement, notre société est fondée sur l'utilisation quasi exclusive de ressources fossiles, en particulier pour son approvisionnement énergétique. La question n'est pas de savoir s'il y aura un pic de production, mais plutôt *quand* celui-ci aura lieu. En effet, pratiquement tous les experts s'accordent sur la quantité et la durée de nos réserves globales en pétrole, charbon, gaz... en fonction de notre vitesse de consommation actuelle. Ainsi, à la fin de ce siècle, nous aurons épuisé la totalité des réserves terrestres que la nature a mis des millions d'années à constituer. Or, cette exploitation de ressources énergétiques fossiles – de carbone fossile – s'accompagne d'un transfert de matière, d'un transfert de carbone, qui par oxydation (la combustion) se retrouve sous forme de CO₂ dans notre atmosphère, s'accumule et contribue à l'élévation de la concentration des fameux gaz à effet de serre, responsables de l'élévation des températures moyennes à la surface du globe.

De même, la pollution atmosphérique et le volume de nos déchets (industriels et ménagers) continuent d'augmenter, à l'échelle planétaire. Enfin, la population mondiale, forte de 6 milliards d'individus, poursuit sa révolution démographique : les prospectives de l'Unesco montrent qu'elle atteindra 8 milliards d'ici 30 ans, 9 milliards d'ici 40 ans, avec deux-tiers d'urbains (pour seulement un tiers aujourd'hui). Cela signifie qu'entre 2000 et 2050, la population des habitants des villes de la Terre aura doublé. Avec des besoins énergétiques qui vont, eux aussi, s'accroître considérablement. Que l'on pense simplement à l'évolution depuis les années 50 : la population globale a doublé en cinquante ans et ses besoins énergétiques ont quadruplé ! Les estimations de l'AIE laissent ainsi envisager plusieurs *scenarii* inquiétants à l'horizon 2050 : d'un doublement à un triplement de la consommation énergétique !

Ces questions s'érigent comme autant de contraintes qui pèsent sur l'industrie. Et à travers ces contraintes, l'industrie et en particulier l'industrie chimique subit une révolution, elle doit ainsi faire face à :

- l'augmentation des prix des matières premières issues du pétrole ainsi qu'à l'anticipation de l'épuisement de ces ressources. Ce phénomène complexe est notamment relié à la demande élevée de matières premières associée au fort développement industriel de la Chine et de l'Inde et à la raréfaction des réserves de pétrole et de gaz naturel ;
- une obligation de réduction drastique des émissions polluantes des procédés chimiques et en particulier de la libération des gaz à effet de serre (CO₂, NOx...);
- Une pression réglementaire forte concernant l'utilisation des matières premières, des intermédiaires de synthèses et des produits de l'industrie chimiques, avec le règlement REACH en phase d'enregistrement, mais également avec plusieurs directives européennes concernant la fin de vie des matériaux (directives VHU [véhicules hors d'usage], DEEE [déchets d'équipements électriques et électroniques], COV [vernis, peintures et produits de retouche de véhicules], etc.).

Ainsi, couvrir les besoins de l'humanité (nourriture, énergie, soins...) en respectant notre environnement est le challenge qui nous attend et que la chimie va devoir relever dans les années futures. La chimie a déjà réussi à remporter des batailles au siècle dernier – lutter contre les épidémies, augmenter la productivité agricole, agroalimentaire et industrielle pour répondre aux besoins croissants en nourriture et en biens de consommation... Aujourd'hui, la demande est différente, mais **c'est encore la chimie qui détient les clefs du développement durable.**

L'ÉCO-CONCEPTION AU SERVICE DE LA CHIMIE – QUELQUES RAPPELS ET PRÉCISIONS

Les productions de biens et de services sont désormais sous contrainte. Il ne va donc plus suffire de répondre à un cahier des charges par une voie technique dans le respect des coûts impartis, il va falloir dorénavant intégrer le respect de l'homme et de l'environnement, limiter les impacts environnementaux. Or, la prise en compte de tous les impacts environnementaux au cours du processus de fabrication, et pas seulement l'empreinte carbone ou les émissions de CO₂, revient à intégrer l'éco-conception aux processus d'innovation. C'est ainsi que le processus d'innovation subit, lui aussi, d'importantes mutations. On n'attend plus simplement de lui une réponse rapide, mais on se donne le temps de la réflexion pour apporter une réponse exhaustive concernant l'environnement, une réponse éco-conçue.

L'éco-conception est ainsi une démarche globale centrée sur le produit. Dans son principe, elle consiste à prendre en compte les critères environnementaux et humains, dès la phase de conception d'un produit. Ces

critères concernent généralement l'ensemble des phases du cycle de vie du produit, à savoir sa production, sa distribution, son utilisation et sa fin de vie.

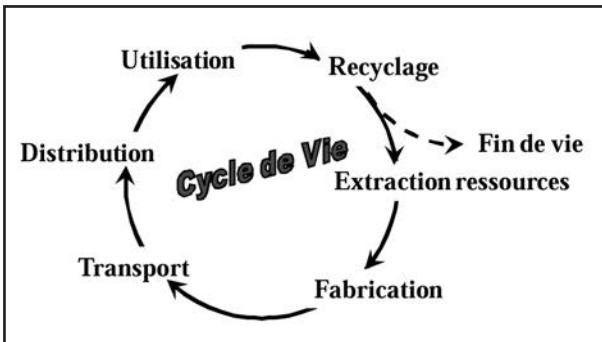


Figure 1 : Le cycle de vie.

Cette démarche est préventive et elle permet d'identifier à la source les impacts sur l'environnement, en vue de pouvoir les réduire. Ce concept s'appuie pour cela sur un outil puissant : l'Analyse de Cycle de Vie – ACV.

L'ACV : L'OUTIL DE L'ÉCOCONCEPTION

L'analyse du cycle de vie s'articule autour de quatre phases :

- Définition des objectifs et du cadre de l'analyse de cycle de vie ;
- Inventaire du cycle de vie ;
- Évaluation de l'impact du cycle de vie ;
- Interprétation du cycle de vie.

Définition des objectifs et cadre de l'analyse de cycle de vie

La définition des objectifs de l'analyse de cycle de vie fait l'objet d'un document de référence, qui est mis à jour à chaque étape de l'analyse de cycle de vie. En général, les études d'analyse de cycle de vie sont effectuées pour répondre à des questions spécifiques. Elles peuvent être réalisées pour répondre à des questions différentes. Pour définir les objectifs de l'étude, on doit définir les impacts potentiels, en relation avec le projet proposé. Pour cela, on peut s'appuyer sur une liste de références environnementales. Dans un deuxième temps, l'analyse de cette liste permettra d'éliminer les catégories d'impacts non nécessaires, de ranger les catégories ayant des impacts insignifiants à un faible niveau d'analyse, et d'identifier les impacts critiques.

Inventaire du cycle de vie

Cette phase est celle qui, au niveau méthodologique, a été la plus développée. Elle a bénéficié des

méthodes issues des bilans matières premières/énergie des années 1970. La définition de l'analyse de l'inventaire du cycle de vie selon la normalisation internationale est la suivante : « Phase de l'analyse de cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie ». L'inventaire est la base objective de l'ACV, parce qu'il est constitué de processus élémentaires qui obéissent aux lois physiques de conservation de la masse et de l'énergie. Ce type d'inventaire n'est cependant pas absolu. En effet, cette démarche implique une phase de collecte de données liée à la réalisation d'hypothèses de travail. Les données peuvent, en effet, être collectées sur les sites de production, mais aussi auprès de données globales de syndicats professionnels ou d'organismes.

Il s'agit ici de recueillir les données ou de rassembler les données existantes, et de faire les calculs selon un déroulement précis : diagramme des flux, description de chaque processus élémentaire, recueil et validation des données. Les données quantitatives d'entrée et de sortie de chaque processus élémentaire, calculées par rapport au flux de référence, sont mises en rapport avec l'unité fonctionnelle.

Évaluation de l'impact du cycle de vie

La phase d'évaluation des impacts consiste à expliciter et interpréter les résultats obtenus au cours de l'inventaire, en termes d'impacts sur l'environnement, sous une forme suffisamment synthétique pour être compréhensible par un non-spécialiste. Cette phase doit permettre de préparer la communication des éléments relatifs à l'impact environnemental du produit. Elle est particulièrement sensible.

Les deux phases précédentes sont celles qui sont le plus liées à la chimie, tout le processus de fabrication étant décomposé en bilan matière et bilan énergétique et analysé en intrants primaires : pétrole, gaz, électricité... A chacune des étapes de ce processus, les sous-produits, les effluents... sont identifiés et leur devenir est évalué en termes de pollution éventuelle, directe ou indirecte.

Interprétation du cycle de vie

Les deux phases précédentes – inventaire et évaluation des impacts – représentent le domaine d'expertise de l'analyse de cycle de vie. En effet, l'approche y est technique et les données y sont nombreuses. Dans la phase d'interprétation de l'analyse de cycle de vie, c'est l'utilisateur, le responsable, le décideur qui vont utiliser les résultats de l'analyse d'impacts, afin de dégager les principales actions qui devront intégrer la prise en considération des autres dimensions

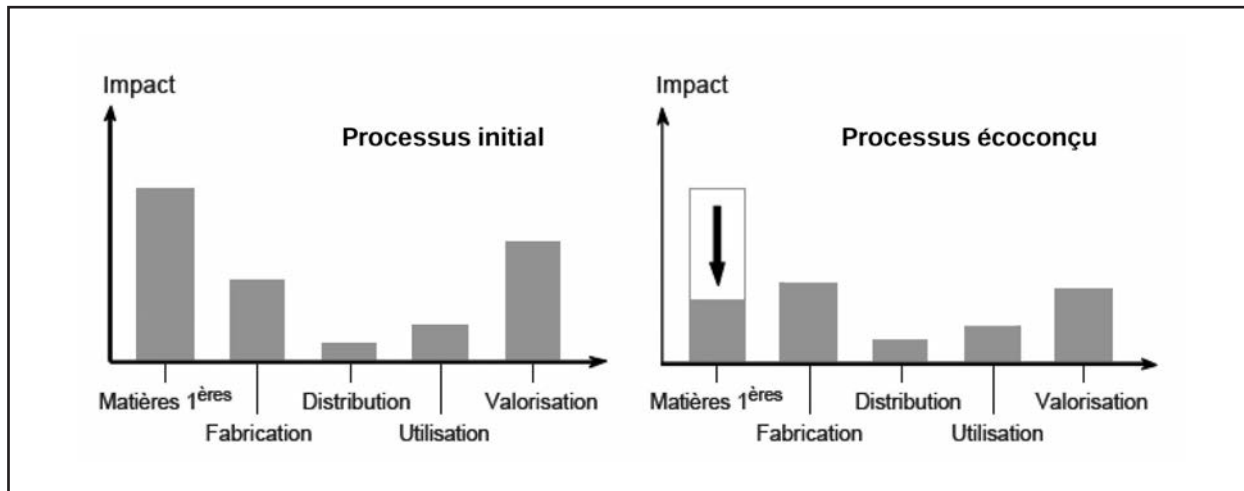


Figure 2 : Limitation des impacts environnementaux par l'éco-conception.

(recherche et développement, marketing, production, service financier, etc.). La phase essentielle de la phase d'interprétation est celle de la rédaction du rapport qui doit contenir les éléments principaux de l'analyse de cycle de vie : rappel du contexte et des objectifs de l'analyse de cycle de vie, définition argumentée de l'unité fonctionnelle choisie, méthodologie de l'analyse de cycle de vie, sources et bases documentaires utilisées et leurs limites, difficultés techniques, méthodologiques et scientifiques rencontrées. La recherche des améliorations est la composante de l'analyse de cycle de vie dans laquelle les options pour réduire les impacts environnementaux du système sont identifiées et évaluées. Cette étape comprend l'identification, l'évaluation et la sélection des options pour l'amélioration de la charge environnementale des produits ou des procédés.

Tout ce processus d'analyse de cycle de vie est régi par un ensemble de normes iso. La norme iso 14040 cadre la définition de l'étude et du champ de l'étude. La norme iso 14041 cadre l'analyse de l'inventaire. Les normes iso 14042 et 14043 fixent, respectivement, les exigences liées à l'évaluation des impacts et à l'interprétation. Quant à la norme iso 14044, elle détermine les exigences et les lignes directrices de l'étude.

Actuellement, les analyses de cycle de vie sont le plus souvent utilisées pour répondre à certains besoins comme l'analyse des performances environnementales d'un procédé industriel, l'argumentaire publicitaire environnemental, la comparaison des impacts environnementaux de deux produits (ou plus), le calcul de bilans environnementaux.

Par ailleurs, les caractéristiques initiales du produit déterminent en général les possibilités de valorisation en fin de vie. Enfin, cette démarche présente un intérêt stratégique, en termes de communication. En effet, les résultats obtenus au cours de ce type d'approche peuvent être communiqués aux clients et apporter un avantage concurrentiel, qui permet de différencier le produit des produits concurrents.

LES LIMITES DES OUTILS DE L'ÉCO-CONCEPTION

L'Analyse de Cycle de Vie est donc un outil d'aide à l'éco-conception. Cet outil peut s'avérer très puissant, mais il présente également des limites, en particulier du fait de la complexité de sa mise en œuvre. En effet, le recours à des logiciels d'experts et à des bases de données souvent coûteuses réduit son utilisation à quelques multinationales et circonscrit son apport à l'analyse de produits et procédés déjà existants.

Par ailleurs, si l'ACV permet l'identification au cours d'un processus donné des étapes générant les impacts environnementaux les plus élevés – par exemple les étapes d'extraction des matières premières – l'ACV donne une vision *a posteriori*, mais elle n'intervient pas au cours du processus d'innovation. L'ACV est en effet une étude réalisée sur un produit déjà industrialisé ou commercialisé et elle permet d'identifier les étapes ayant le plus d'impact sur l'environnement au cours de la fabrication de ce produit. L'objectif d'un processus éco-conçu est d'apporter, dans une deuxième phase, des solutions afin de réduire les impacts les plus importants au cours des étapes précédemment identifiées. L'innovation naît ainsi de la recherche de solutions lors de la deuxième génération, ou de l'amélioration du procédé de fabrication du produit (cf. figure 2).

C'est pourquoi l'objectif premier de ces analyses de cycles de vie est plutôt la compilation de données, la réalisation d'un bilan environnemental, la production de résultats en vue de la communication sur la fabrication d'un produit, mais pas l'aide à l'éco-conception. Cela tient en particulier au fait que l'outil ACV n'est pas adapté pour orienter la conception d'un produit, mais plutôt pour évaluer son impact final.

Ainsi, ce processus d'analyse de cycle de vie est réalisé *a posteriori* sur un produit ou un procédé existant et il permet d'analyser les impacts environnementaux de ce produit ou de ce procédé. Les résultats de cette ACV mettent donc en évidence les étapes qui ont le plus d'impact sur l'environnement. Ce sont ces étapes sur

lesquelles il faudra dès lors travailler pour réduire l'impact environnemental, mais ce, uniquement lors d'une phase d'amélioration du produit ou lors de la phase de conception de la « deuxième génération » de ce produit. En première approche, l'analyse de cycle de vie ne permet que de comparer l'impact environnemental de deux produits, pour trouver le meilleur compromis.

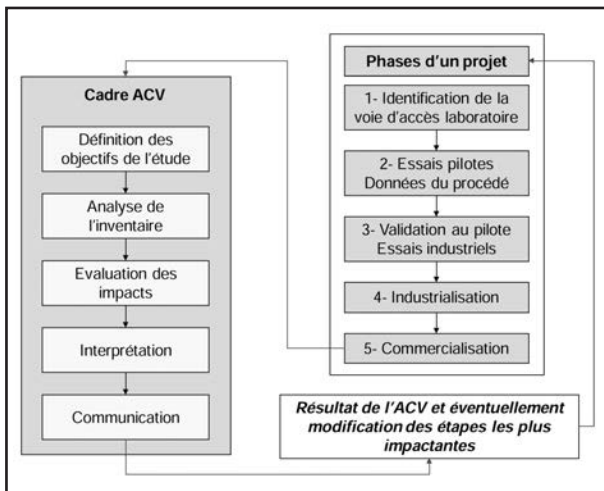


Figure 3 : L'ACV.

Par ailleurs, cet outil souffre de nombreuses limites. En effet, les impacts calculés sont des impacts potentiels ne reflétant pas la réalité locale.

De plus, il n'est pas dynamique. En effet, les données, même lorsqu'elles sont issues de mesures réalisées, ne sont valables que pour une durée limitée et sont rarement actualisées. En outre, leur qualité peut être discutable. Ainsi, si elles sont issues de bases de données, elles ne sont pas forcément représentatives des réalités locales et elles pèchent aussi par une faible fréquence de mise à jour. Dans tous les cas, les résultats obtenus ne sont que rarement actualisés. Mais surtout, l'ACV ne permet pas de prendre en compte la marge de progrès des technologies qu'elle compare. En effet si l'on compare une technologie très mature et très optimisée à une nouvelle technologie, on peut conclure que la première provoque moins d'impacts sur l'environnement, sans se rendre compte que l'on dispose de marges de progrès bien supérieures avec la nouvelle technologie. Et on peut décider de ne pas développer cette nouvelle technologie, alors même qu'elle provoquerait moins d'impacts après quelques optimisations. L'ACV, aplanissant tout, ne permet pas d'utiliser le temps comme variable dimensionnelle.

L'ACV, un outil à double tranchant

Enfin, il faut être extrêmement prudent dans les étapes de définition des hypothèses et de l'unité fonctionnelle, et dans l'allocation des déchets et coproduits du procédé. De faibles variations dans ces étapes peuvent avoir des conséquences considérables sur les

impacts environnementaux et sur les résultats de l'ACV.

Ainsi, dans une étude de cas, Jolliet et col. dressent une critique d'une ACV comparée entre un ordinateur portable et un ordinateur de bureau. Les résultats de l'ACV montrent que l'ordinateur de bureau présente près de 40 % d'impacts environnementaux en plus que l'ordinateur portable et que près de 50 % de ces impacts sont dus à l'écran. Cependant, les hypothèses retenues pour cette étude sont critiquables. En effet, les écrans envisagés sont différents pour les deux ordinateurs : cathodique (pour l'ordinateur de bureau) et LCD (pour l'ordinateur portable). La durée de vie estimée est identique pour les deux ordinateurs, alors qu'il est évident que celle de l'ordinateur portable est inférieure, en raison des conditions de transport et des possibilités de réutiliser certains composants de l'ordinateur de bureau. Et enfin, la batterie de l'ordinateur portable n'est pas prise en compte dans l'ACV – composant pourtant crucial dans la gestion de la fin de vie d'un déchet d'équipement électrique ou électronique (DEEE).

Les résultats de l'ACV peuvent aussi être liés à l'allocation des déchets, ce qu'illustre la comparaison de deux études réalisées sur le bioéthanol de blé, l'une à l'initiative de l'Ademe, l'autre d'EDEN (Energie Développement ENvironnement). En effet, les rendements énergétiques (énergie restituée / énergie renouvelable mobilisée) varient du simple au double, entre les deux études : 1,10 pour EDEN ; 2,05 pour l'Ademe. Ces différences peuvent notamment s'expliquer par les différences dans les choix réalisés pour les allocations des déchets de la filière bioéthanol : déchets en totalité supportés par la filière, pour l'étude EDEN, qui utilise une approche systémique ; déchets supportés à 43 % par l'éthanol, pour l'étude Ademe qui a fait le choix de l'allocation massique (le bioéthanol représentant 43 % de la matière sèche mobilisée). Ces deux options peuvent être choisies, mais il importe de bien comprendre que les résultats peuvent en être radicalement modifiés.

Enfin, un dernier exemple de l'importance des hypothèses et des frontières des ACV nous est donné dans l'étude des impacts environnementaux du polyhydroxyalkanoate (PHA) par Kim *et al.* En effet, dans leur étude, sont comparées les contributions à l'effet de serre du polystyrène et du PHA issu de la fermentation des grains de maïs, il contribue plus à l'effet de serre que le polystyrène (PHA : 4,4 kg CO₂eq/kg et PS : 2,9 kg CO₂eq/kg), alors que si le PHA est issu de la fermentation des grains et de la paille de maïs, c'est le polystyrène qui a le plus d'impact sur l'effet de serre (PHA : -1,9kg CO₂eq/kg).

Tous ces exemples nous montrent que l'outil ACV est extrêmement efficace, mais qu'il doit être manié avec prudence et par des mains expertes, sous peine de produire des résultats biaisés, voire des contre-résultats !

VERS DE NOUVEAUX OUTILS D'AIDE À L'INNOVATION

Ainsi, pour répondre aux nouvelles contraintes des processus d'innovation, pour se situer très en amont dans les phases des projets, pour accompagner la conception des produits et procédés de l'industrie chimique, et prendre en compte les nouveaux aspects règlementaires, nous avons besoin de nouveaux outils donnant des orientations à suivre pour guider les choix des chercheurs et des chimistes. Il devient plus important d'assister le processus d'innovation avec un outil d'aide au pilotage, plutôt que de le conclure d'une analyse exhaustive *a posteriori*. Si la comparaison était permise, nous pourrions avancer que l'industrie chimique a plus besoin d'un « GPS » pour ses voies d'accès que d'un « chronomètre officiel ».

Il est en effet capital de donner une réalité à l'éco-conception dans l'industrie chimique et d'étendre cette conception environnementale à l'ensemble de ses projets. Pour cela, les concepteurs de produits et de procédés de l'industrie chimique ont besoin d'un outil adapté, facile d'utilisation et non uniquement réservé à des experts des bilans environnementaux, d'un outil qui puisse les orienter dès le choix des voies d'accès sur l'impact environnemental final.

Par ailleurs, il est crucial de relier les bases de données d'inventaire à celles de la classification des substances dangereuses. Comment imaginer aujourd'hui l'identification d'une voie d'accès chimique sans anticiper les contraintes imposées par la réglementation, et en particulier le règlement Reach ? Il est dès lors important d'inclure dans les bases d'inventaires toutes les mises à jour des ATP [Adaptation to Technical Progress] successives de l'annexe 1 de la directive 67/548, ainsi que les différentes classifications des produits dans les annexes IV, V « exemptions de l'obligation d'enregistrement conformément à l'article 2, paragraphe 7, point a) et b) » et XIV « liste des substances soumises à autorisation » de Reach.

Il est par ailleurs capital de pouvoir généraliser l'utilisation d'un tel outil à des entreprises de taille plus modeste, pour accroître leur compétitivité. Il faut pour cela leur donner un outil utilisable à toutes les étapes du projet, très tôt dans les phases d'innovation, y compris pour orienter les choix de la R&D. Les outils existants ne répondent pas forcément à cet objectif, notamment pour les PME de l'industrie chimique, à la recherche d'un référentiel simplifié leur permettant d'intégrer la notion de Développement Durable dans la conception de leurs produits.

Un outil de pilotage de l'éco-conception, permettant, dans une première approche, d'évaluer chacune des contributions à chacune des étapes du projet, est une réponse à ce besoin.

CONCLUSION

Les processus d'innovation de l'industrie (et en particulier de l'industrie chimique) sont aujourd'hui en mutation. Ils doivent désormais répondre à un effort de réduction des impacts environnementaux à chacune des étapes du processus de fabrication, ils doivent intégrer l'éco-conception du produit (ou du procédé). Dans cette approche, l'ACV, outil jusqu'à maintenant utilisé pour identifier les impacts d'un cycle de vie, ne suffit plus. Il faut désormais un nouvel outil, intégré au processus d'innovation, un outil de pilotage de l'éco-conception.

Ce nouvel outil, nécessaire à l'industrie, des grands groupes aux PME, doit être fondé sur des bases d'inventaire prenant en compte les réglementations pesant sur la chimie – telles que le règlement Reach – et assorti de bases d'évaluation simplifiées.

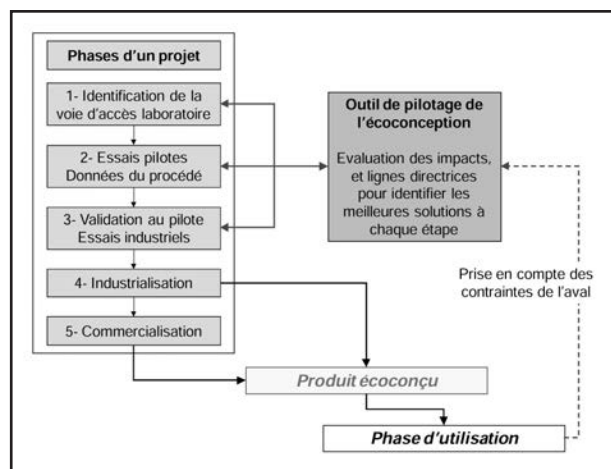


Figure 4 : Un nouvel outil.

L'originalité de ce type d'outil est d'être accessible aux chercheurs et aux développeurs de l'industrie chimique, et non pas seulement aux experts environnementaux. Ce choix est un réel positionnement en faveur d'une implication et d'une réactivité accrues de la R&D en lui donnant les moyens d'agir, de disposer d'un processus d'innovation, inscrit dans le cadre d'une chimie durable. Un tel outil permettra, de plus, une diffusion considérable des pratiques de l'éco-conception, et ce, non seulement au sein des grands groupes mais aussi au sein des PME et PMI, dont les services Responsible Care sont souvent sous-dimensionnés. Ainsi, si le management de la qualité a commencé vers 1992 pour les grands groupes, ces actions n'ont démarré que vers 2004-2006 pour les plus petites structures. Aujourd'hui, dans le secteur industriel, seulement un quart des entreprises prévoit la fin de vie de ses produits et des pratiques d'éco-conception n'existent que pour 40 % d'entre elles.

BIBLIOGRAPHIE

Académie des Technologies – Les Analyses de Cycle de Vie, Ouvrage Collectif, 2005.

(M.) Azémar, Communication « Les Sciences chimiques au service de l'environnement », Pollutec, Paris, 2007.

(N.) Boeglin & (D.) Veillet, Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), Ademe, 2005.

Directive 2000/53/CE Journal officiel L269, 21/10/2000, 34-43.

Directive 2002/96/CE (modifiée 2003/108/CE) Journal officiel de l'Union Européenne L345, 31/12/2003, 106-107.

Directive 2004/42/CE Journal officiel de l'Union Européenne L143, 30/04/2004, 87-96.

(M.) Dohy & (E.) Poitrat, Bilan énergétique et émissions de GES des carburants et biocarburants conventionnels, Ademe Ecobilan, 2006.

(O.) Jolliet, (M.) Saadé & (P.) Crettaz, Analyse du cycle de vie – Comprendre et réaliser un écobilan, Presses Polytechniques et universitaires romandes, 2005.

(S.) Kim & (B.) Dale, Int. J. LCA, 2005, 10(3), 200-10.

(E.) Legrand, les ACV, AEDE, 2003.

(C.) Ponting, Le Viol de la Terre, Nil Editions, 2000.

(P.) Sadones, les Agrocarburants, rapport EDEN 2006 REACH, Règlement (CE) n° 1907/2006 du parlement européen et du conseil du 18 décembre 2006.

(T.) Reyes, Intégration de l'environnement dans la conception des produits, UTT, 2008.

Les déchets, sur la voie de l'économie circulaire

La gestion des déchets liés à notre mode de vie et à la croissance démographique (notamment dans les villes) constitue désormais un véritable défi pour nos sociétés. Ce défi s'impose d'autant plus aujourd'hui avec les objectifs définis par le Grenelle de l'environnement et les mesures opérationnelles qu'il prévoit pour réduire la production de déchets et en favoriser leur valorisation.

par **Diane d'ARRAS***

LA GESTION DES DÉCHETS, UN ENJEU SOCIÉTAL.

Nos sociétés occidentales ont longtemps été plongées dans une logique de consommation tous azimuts, d'exploitation et d'utilisation sans limites des ressources. L'homme utilisait et jetait sans penser à une éventuelle réutilisation de ces matières premières ni à leur potentiel valorisable, en raison d'ailleurs du coût économique de cette réutilisation. Ainsi, jusqu'à récemment, le déchet avait un cycle de vie extrêmement court et il était considéré comme un rebut. L'objectif a été dans un premier temps de le cacher, de l'enfouir, de le faire disparaître, puis, depuis une vingtaine d'années, de le traiter proprement pour éviter toute nuisance.

L'évolution de la conscience environnementale et, plus récemment, les changements climatiques, la raréfaction et la récente flambée du pétrole et des matières premières ont provoqué un choc montrant que nous avons atteint une limite dans ce mode de vie et de consommation. L'enjeu est d'autant plus grand que, la quantité de déchets ne cessant de croître, ceux-ci deviennent un gisement intéressant. Selon l'ADEME, la quantité de nos déchets a été multipliée par 2 en près de 40 ans et chacun d'entre nous produirait quelque 360 kg de déchets par an. L'activité liée aux déchets est donc en pleine expansion et représente à l'heure actuelle, en volume de recettes, le quatrième impôt direct pesant économiquement sur les ménages.

Cette évolution du marché incite à mener une réflexion sur l'optimisation de l'utilisation de ces ressources. En effet, nous ne pouvons plus nous contenter de nous

débarrasser de nos déchets alors que les matières premières ne sont disponibles qu'en quantités limitées.

Face à ces risques, nous n'avons a priori plus le choix : il faut inventer, créer, faire évoluer notre façon de produire et de consommer. Mais ces menaces ne sont-elles pas également autant d'opportunités à saisir pour inventer de nouveaux *business models* ?

Nous devons mettre en place de nouveaux modes de fonctionnement à travers la collecte sélective, mais également le tri, la valorisation, le recyclage, afin d'atteindre ce cercle vertueux du déchet transformé en matière première secondaire, c'est-à-dire en matériau qui se substituera à de la matière première naturelle.

VERS UNE SOCIÉTÉ D'ÉCO-CONSOMMATION

La raréfaction des matières premières et la hausse de leur coût sont des moteurs de réflexion sur la question de la gestion des déchets et de leur traitement. Mais aujourd'hui, la prise de conscience environnementale de la population, des entreprises et des élus joue également un rôle crucial, engendrant une remise en cause des modes actuels de consommation.

Cosmétiques équitables, fruits et légumes bio, éradication des sacs plastiques dans les supermarchés sont autant de produits et d'actions engagées révélateurs de cette tendance lourde orientée vers le développement durable. Ces nouvelles exigences et habitudes montrent

* Directeur Recherche et Métiers, SUEZ ENVIRONNEMENT.

combien la sensibilisation de la population à ces enjeux est une condition déterminante de toute tentative de modifier durablement les comportements et, ainsi, d'amorcer une nouvelle forme de « politique ». Cet engagement environnemental est renforcé par une tendance de plus en plus forte au refus de gaspiller. C'est cette prise de conscience collective qui préside à la définition d'un plan d'action sur la gestion des déchets dans les années à venir : une responsabilité commune, sans laquelle rien n'est possible.

Trois leviers incitent à mener une réflexion autour d'une nouvelle définition de la gestion des déchets. Tout d'abord, comme nous l'avons vu précédemment, le levier environnemental, avec une prise de conscience non seulement de l'opinion publique, mais également des entreprises et des élus. Ensuite, le levier réglementaire au travers de nouvelles contraintes juridiques, certes contraignantes mais intelligentes et nécessaires, comme l'obligation, pour certaines entreprises, de s'occuper de leurs produits en fin de vie. La loi de 1992, dite loi Royal, marque notamment un tournant dans nos modes de gestion du déchet en lui attribuant une notion de valeur et d'utilité et en instaurant l'obligation de valorisation et de recyclage. Enfin, le levier économique : plus les matières premières seront chères et rares, et plus nous aurons intérêt à les recycler.

De cette rareté et de ces nouvelles considérations économiques, réglementaires et écologiques naissent de nouveaux modèles. Il ne s'agit plus seulement de collecter et d'enfouir ou de détruire les déchets, mais de les trier et de capter les gisements réutilisables. C'est l'amorce d'une révolution de notre vision des déchets.

QUAND LE DÉCHET DEVIENT RESSOURCE : LA SECONDE VIE DES DÉCHETS

L'époque d'un traitement uniforme de tous les déchets est révolue. Aujourd'hui, la gestion des déchets fait l'objet de plusieurs étapes hiérarchisées et d'un traitement multi-filières prenant en considération la nature même du déchet, en vue d'une gestion raisonnée des ressources.

Le tri est la première étape de la valorisation des déchets. C'est d'ailleurs le mode de traitement qui a connu la plus forte progression, de vastes programmes de collecte sélective ayant été lancés ces dernières années. Ce n'est pas un hasard si l'innovation est au rendez-vous avec, notamment, le développement du tri optique, dans certains centres, qui permet de séparer les plastiques opaques et transparents, ou encore les objets en acier triés par un système d'aimants. Ces avancées permettent aux trieurs de devenir de véritables « contrôleurs qualité » des matières triées. Favoriser le tri passe également par une approche globale de sensibilisation auprès de tous les acteurs – consommateurs, industriels et collectivités – afin de le transformer en geste écolo-

gique » généralisé : une avancée possible, si elle est liée à une prise de conscience commune.

Ainsi, les considérations environnementales, réglementaires et sociétales ont fait émerger l'idée permettant de considérer le déchet comme une ressource à exploiter. Le déchet doit être utilisé au mieux de son potentiel : sa valorisation est ainsi non seulement utile, mais nécessaire. Il peut alors devenir un produit que nous pouvons transformer en véritable matière première secondaire. La mise en place d'un tel cercle vertueux est un objectif exigeant, résolument moderne, et apporte de ce fait une alternative durable aux problèmes de la gestion des déchets. Gérer, optimiser, valoriser les déchets deviennent une forme d'engagement sur l'avenir.

La recherche a contribué à développer des innovations permettant de transformer les déchets en ressources. Actuellement, il existe deux grands types de valorisation.

- La « valorisation matière », tout d'abord. Il s'agit du recyclage, c'est-à-dire du fait de récupérer les matériaux réutilisables et de les transformer en matière première secondaire. Le recyclage a le double avantage de réduire le volume des déchets et de préserver les ressources naturelles. Les matériaux qui font aujourd'hui l'objet d'un recyclage matière (plus ou moins avancé) sont le papier, le bois, les métaux, le caoutchouc et les plastiques. Mais la matière organique peut, elle aussi, être valorisée en tant que telle. Ainsi, sa valorisation par compostage est une véritable alternative 'verte' aux engrais classiques utilisés dans l'agriculture. Le compostage est un procédé biologique de conversion de la matière organique en un produit stabilisé, semblable à un terreau riche en composés humiques. Déchets biodégradables et boues de stations d'épuration sont soumis à une fermentation accélérée pour être transformés en compost de qualité : une solution d'avenir ! Une tonne de déchets valorisés fournit près de 400 kg de compost.

Les défis majeurs posés au recyclage matière dans les années qui viennent résident dans sa qualité et dans son coût. En effet, l'usage, en bout de chaîne, implique un contrôle qualité de l'amont vers l'aval très exigeant, afin de s'assurer que le produit valorisé est au moins aussi utilisable que le produit naturel. Mais le défi économique est aussi à prendre en compte : pendant longtemps, il a été moins coûteux de jeter que de valoriser. C'est encore souvent le cas et les filières ne peuvent démarrer que si elles sont aidées, c'est-à-dire subventionnées. Par la suite, la structuration du marché (volumes), les efforts de production et de R&D, et enfin la hausse des coûts des matières premières peuvent permettre de rendre ces filières économiquement viables. Cela, sans négliger de prendre en considération leur impact environnemental.

- La « valorisation énergétique », ensuite. Elle a lieu dans le cadre de deux processus de traitement des déchets : l'incinération et le stockage. L'incinération utilise le déchet comme combustible, la vapeur produite étant transformée en électricité. Quant aux centres de stockage, les

déchets en cours de dégradation fabriquent du biogaz, qui est collecté pour être transformé en énergie électrique ou thermique. La valorisation énergétique permet ainsi d'économiser les énergies puisqu'elle transforme des déchets en ressources énergétiques se substituant à l'énergie fossile.

Cette vision du déchet valorisé constitue un point central de la future politique des déchets, qui est d'autant plus justifiée dans un contexte de raréfaction des ressources et de changement climatique. Longtemps resté local, cet enjeu prend dorénavant une dimension internationale. En 2004, le G8 a lancé une initiative internationale pour promouvoir l'approche des « 3 R » : Réduire, Réutiliser, Recycler. C'est le signe d'une prise en compte internationale de la gestion du déchet. Le premier objectif est évidemment de réduire le déchet à la source, en limitant sa production ; le deuxième objectif est de le réutiliser en lui donnant une nouvelle utilité ; et le troisième objectif est, dès lors que cela est possible, d'en favoriser le recyclage.

SUR LA VOIE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

La valorisation (matière, ou énergétique) des déchets dessine les contours d'une véritable écologie industrielle et, plus précisément, d'une *économie circulaire* des déchets, l'idée étant de promouvoir une croissance durable basée sur une meilleure gestion des ressources et sur le respect de l'environnement : une manière d'articuler développement durable et activité industrielle. En favorisant l'optimisation et la réutilisation des ressources, Suez Environnement se positionne comme un acteur majeur de l'économie circulaire : sur les 40 millions de tonnes de déchets que nous traitons, près de 43 % sont valorisés.

S'inscrire dans une politique d'économie circulaire permet d'envisager le système productif comme un cycle naturel, considérant ainsi les déchets comme des gisements de matières premières, comme une ressource. Une nouvelle économie, dont la croissance est tirée par la préservation des ressources, est donc en marche. Cette économie *circulaire* s'oppose à notre économie actuelle, qui d'un côté épuise les ressources et, de l'autre, accumule les déchets. L'objectif, à terme, serait de produire « zéro déchet » en réutilisant complètement les matériaux usagés. Cela aboutit forcément à une remise en question de nos modes actuels de vie, de production et de consommation. Cette politique n'aboutira également qu'au travers d'une bonne information des citoyens, qui doivent comprendre qu'ils sont aussi des acteurs clés de la gestion des déchets. Elle pourra être atteinte petit à petit, en développant plus avant encore les progrès dans la gestion des déchets, à travers les axes suivants :

- La mise en place de chantiers de déconstruction, qui permettent à travers des *process* soignés de préparer les déchets en fonction de filières aval de valorisation ;
- La mise en place de filières de « réutilisation ». En effet, au recyclage (matière, et énergétique) peut s'ajouter en amont la réutilisation de certaines pièces. Lors de chantiers de déconstruction (bateaux, avions, déchets d'équipements électriques et électroniques – DEEE), des pièces détachées encore utilisables peuvent être remises sur le marché, après un contrôle rigoureux ;
- La mise en place de filières de recyclage et valorisation plus courtes. Il est, en effet, peu environnemental de transporter des matières à recycler à l'autre bout du monde pour les trier avant leur utilisation. Des filiales plus locales sont à prescrire dans le futur.

En opposition avec les tendances à la mondialisation, par le passé, l'économie circulaire sera sans doute plus locale.

Davantage d'électricité pour moins de CO₂

Des solutions électriques efficaces au plan énergétique existent pour les différents secteurs consommateurs : bâtiments, industrie, transports. Leur substitution aux procédés actuels fondés sur des combustibles fossiles devrait permettre une réduction significative des émissions de CO₂. En effet, grâce à l'hydraulique et au nucléaire, la plus grande part de l'électricité produite aujourd'hui en France n'utilise pas d'énergies fossiles et cette part devrait encore s'accroître dans l'avenir avec l'EPR mais aussi l'éolien et d'autres énergies renouvelables.

par Yves BAMBERGER*

ÉNERGIE ET MATÉRIAUX :
QUELQUES NOUVEAUX
REGARDS

Des prises électriques dans nos maisons aux centrales nucléaires, des pylônes de nos campagnes aux grands barrages, le vingtième siècle nous a légué un fabuleux système technique : le système électrique, support essentiel de notre vie quotidienne et du fonctionnement de nos sociétés. Ce système permet de mutualiser une partie des besoins et de la fourniture en énergie. Dans les pays de l'OCDE, la « fée électricité » fournissait en 2005 environ 20 % de l'énergie que nous utilisons. Le développement de cette énergie, dite finale (par opposition à l'énergie primaire : charbon, pétrole...) va se poursuivre durant les décennies à venir, pour dépasser probablement les 30 % en 2030. Cette croissance du rôle de l'électricité sera l'un des supports de l'éco-efficacité énergétique, de la réduction des émissions de CO₂ et de notre dépendance en combustibles fossiles – bref, une pièce maîtresse du développement durable – tant dans nos pays que dans les pays en émergence et les pays en développement où, malheureusement, le taux d'électrification est encore très faible.

LES USAGES ÉCO-EFFICACES DE L'ÉLECTRICITÉ

Du côté des usages finaux, l'efficacité énergétique est devenue – à juste titre – un enjeu majeur : la raréfaction des énergies fossiles (pétrole puis gaz) et leur renchéris-

sement sans précédent illustrent la nécessité de réduire globalement les besoins en énergie dans les sociétés occidentales. Par ailleurs, l'impérieuse nécessité de réduire les effets de l'activité humaine sur le climat engage à développer les usages simultanément les plus sobres en matière de consommation d'énergie finale et peu émetteurs de gaz à effet de serre (GES).

Nous parlons, chez EDF, d'éco-efficacité énergétique des usages de l'énergie.

Avant d'aller plus loin, prenons un exemple d'éco-conception qui répond à ce double critère : la pompe à chaleur. Les équipes de chercheurs d'EDF viennent de faire franchir un pas significatif à cette technologie, qui permettra de chauffer une habitation et de produire l'eau chaude sanitaire, en remplacement d'une chaudière au fioul, sans modifier le réseau de chauffage. Ainsi, pour une maison de 160 m², ce mode de chauffage permettra de diviser au moins par 2 la facture de chauffage et par 5 les émissions de CO₂.

Chez EDF, le développement de ces usages efficaces et faiblement émetteurs de CO₂ s'appuie en partie sur des compétences historiques de recherche et de développement acquises dès le choc pétrolier de 1973, dans un contexte en partie similaire à celui que nous connaissons actuellement, au moins en ce qui concerne les ten-

* Directeur de la Recherche du Groupe EDF, membre de l'Académie des Technologies.

sions sur le prix des énergies fossiles, principalement pétrole et gaz.

LES BÂTIMENTS : PRIORITÉ À L'ISOLATION ET AUX POMPES À CHALEUR

Le secteur résidentiel est celui qui consomme le plus, les deux tiers des consommations de ce segment étant destinées au chauffage. Des efforts importants d'efficacité énergétique ont déjà été accomplis dans le résidentiel neuf, notamment grâce à des réglementations thermiques de plus en plus sévères. Mais, le taux de renouvellement du parc étant inférieur à 1 %, le levier principal d'efficacité énergétique dans ce secteur est la rénovation thermique des logements existants.

L'isolation de ces bâtiments est, dès lors, la première action d'efficacité énergétique. Dans ce domaine, et en relation avec les industriels du secteur, les équipes de recherche d'EDF ciblent leurs efforts sur deux innovations principales : l'isolation thermique par l'extérieur, pour les maisons et les immeubles collectifs, avec des modes de pose économiques et moins contraignants ; et l'isolation par l'intérieur au moyen de nouveaux isolants minces, comme les isolants sous vide, 7 à 8 fois moins épais que les produits actuels.

En matière d'éco-conception, le second geste consiste à intégrer au bâtiment des énergies renouvelables thermiques, en premier lieu les pompes à chaleur, technologie qui permet d'extraire des calories dans le milieu naturel (air, eau, sol) et de les restituer à l'intérieur du bâtiment (dans le réseau d'eau des radiateurs ou l'air ambiant), grâce à un compresseur alimenté à l'énergie électrique. L'énergie transmise au bâtiment est plusieurs fois supérieure à l'énergie électrique consommée : c'est le coefficient de performance, d'environ 3 pour les machines actuelles. La pompe à chaleur est une technologie clef pour réduire rapidement les émissions de CO₂ et les consommations d'énergies fossiles, et augmenter la production d'énergies renouvelables dans les bâtiments neufs et surtout dans les bâtiments existants. Après les développements évoqués plus haut qui permettront prochainement de remplacer les chaudières au fioul, nos efforts supplémentaires de R&D portent sur la compacité des composants, la réduction du bruit et la diminution des coûts de fabrication, afin de remplacer à moyen terme les chaudières brûlant du gaz, dont les émissions de CO₂ ne peuvent être significativement réduites.

La troisième action en matière d'éco-efficacité énergétique, en termes de quantité de CO₂ évitée comparée au coût de mise en œuvre, est la production locale d'énergie avec une source d'origine renouvelable, solaire ou bois. Outre les offres « Bleu Ciel », d'ores et déjà disponibles pour l'équipement de panneaux photovoltaïques, EDF mène des recherches en partenariat avec le CNRS et l'École Nationale Supérieure de Chimie sur une nouvelle technologie de capteurs, dite à couches

minces, afin d'améliorer le rendement de transformation de l'énergie solaire en électricité, et surtout de réduire les coûts de production des cellules.

Enfin, les nouvelles technologies de comptage et de gestion des appareils domestiques permettront aux clients de mieux maîtriser leur consommation énergétique.

Et pourquoi, dans quelques années, ne donnerait-on pas aux clients une information en temps réel sur le contenu en CO₂ du kWh électrique produit, afin de les sensibiliser sur l'utilisation des appareils durant les périodes « peu émettrices » et contribuer à lisser la pointe de charge et diminuer ainsi le recours aux moyens de production fortement « carbonés ».

Dans ce domaine, EDF est partenaire du projet « HOMES », dont l'objectif principal est de développer les architectures et composants de contrôle du bâtiment intelligent de demain, pour gagner jusqu'à 20 % d'économie d'énergie. Le projet regroupe des industriels (Schneider Electric, Philips Lighting, ST Micro...) et des laboratoires (CEA, CSTB [Centre Scientifique et Technique du Bâtiment]...).

L'INDUSTRIE : GESTION DE L'ÉNERGIE, CHAUFFAGE PAR INDUCTION ET UTILISATION DE LA CHALEUR FATALE

Si l'efficacité énergétique dans l'industrie a crû de 2 à 3 % par an avant 1990, elle est revenue ensuite à une croissance plus modérée, de 1 % par an. Force est de constater aujourd'hui qu'il subsiste des potentiels d'efficacité énergétique très significatifs, dans ce secteur qui représente en Europe un tiers de la consommation d'énergie.

Le potentiel d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de CO₂ passe par trois leviers. D'une part, la mise en œuvre d'une gestion fine de l'énergie et l'optimisation des flux d'énergies au sein des usines, en interaction avec la conduite des procédés industriels ou la production d'utilités. On peut estimer que ces systèmes de gestion permettent d'économiser 10 % de l'énergie sur les sites bien gérés et beaucoup plus, de 20 à 30 %, dans un grand nombre de cas. Ils contribuent à éviter des dérives de réglage et à conserver une utilisation rationnelle de l'énergie au cours du temps.

Un second levier : l'induction, meilleure technologie disponible de chauffage de solides, bien implantée dans le traitement thermique des métaux et la fusion. Elle permet de doubler l'efficacité énergétique d'un four industriel : précise et de bon rendement, l'induction est utilisable soit pour chauffer directement des métaux, soit pour chauffer des fluides dans une cuve. Parmi ses nombreux avantages, citons sa flexibilité d'utilisation (modulation de puissance, reproductibilité des cycles de traitement...) et les gains de productivité, dus à la réduction des pertes de matière sur le produit par oxydation.

Surtout, le chauffage par induction a un rendement énergétique élevé par rapport au chauffage à flammes ou à vapeur et il peut ainsi permettre de diviser par 2 la consommation d'énergie. Son utilisation en « stop and go » (pas de préchauffage, ni de mise en veille) permet aussi l'obtention de gains énergétiques substantiels.

Autre sujet clé pour l'efficacité énergétique dans l'industrie, la valorisation de la chaleur dite 'fatale', qui peut être réalisée par des échangeurs de chaleur ou, moins classiquement, par une pompe à chaleur et par compression mécanique de vapeur (CMV). La CMV récupère de la vapeur « usagée » et lui redonne par compression des niveaux de température et de pression utiles dans le procédé. La concentration de liquides par évaporation, avec compression mécanique de vapeur, est une technique mature, intrinsèquement économe en énergie. Elle peut trouver des marchés potentiels importants dans la concentration de liquides en process (lait, lactosérum, liquides dans la chimie...) ou d'effluents. La consommation d'énergie finale peut être diminuée d'un facteur 10 à 20, selon qu'elle est ou non implantée sur des applications déjà performantes.

Pour la pompe à chaleur, au-delà de ses quelques applications actuelles, son véritable intérêt est la valorisation de chaleur en sortie de procédés. Les principaux secteurs concernés sont les industries du bois, les industries agroalimentaires et la chimie. Le nombre de pompes à chaleur implantées dans l'industrie est encore faible. La principale raison, souvent invoquée, est le temps de retour sur investissement, trop long. Toutefois, avec les évolutions actuelles des coûts des énergies, il n'y a aucun doute quant à l'intérêt énergétique et économique de la pompe à chaleur dans l'industrie. Le temps de retour sur investissement a diminué d'un facteur 2,5 entre 2002 et aujourd'hui.

On le voit, l'éco-conception énergétique dans l'industrie recèle des marges de progrès significatives.

LES TRANSPORTS : L'ENJEU DU VÉHICULE HYBRIDE RECHARGEABLE ET DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE

Le secteur des transports représente en France environ un tiers de l'énergie finale consommée (dont 80 % pour les transports routiers) et un quart des émissions de CO₂.

Depuis maintenant quelques années, les grands constructeurs automobiles travaillent sur le concept de véhicule hybride. La Toyota Prius II est une vraie réussite, du point de vue technique et commercial, et elle marque une rupture au niveau de l'offre. L'hybridation a permis de baisser la consommation d'un véhicule essence à 4,5 litres/100 km en cycle urbain, tout en gardant une autonomie et des performances identiques à celles d'un véhicule thermique de la même gamme. Néanmoins, l'autonomie sur la seule batterie reste relativement faible.

Certains constructeurs, dont Toyota, travaillent actuellement à une offre industrielle de véhicules hybrides rechargeables sur le réseau à l'aide d'une prise électrique « classique » et dotés d'un pack de batteries permettant d'assurer une autonomie suffisante en mode électrique pur. A l'horizon 2020, un parc d'un million de véhicules se rechargeant la nuit et faisant la moitié de leur kilométrage annuel en mode électrique pur (ce qui est réaliste, lorsque l'on étudie les habitudes de déplacement et les distances moyennes parcourues), éviterait le rejet de 1 million de tonnes de CO₂ et l'achat de 0,5 Mtep de carburant, sur leur durée de vie.

Les progrès constatés dernièrement sur les batteries – et les efforts mondiaux de R&D engagés sur les batteries connaissent actuellement un accroissement significatif – permettent aujourd'hui d'envisager de façon crédible le développement, puis le déploiement à moyen terme de tels véhicules. Les tensions observées sur le marché du pétrole renforcent la pertinence économique d'une telle évolution.

Le développement complémentaire de véhicules 100 % électriques rencontre également un regain d'intérêt, notamment pour les parcs de véhicules de sociétés.

DES SUBSTITUTIONS VERS L'ÉLECTRICITÉ BÉNÉFIQUES DANS LA MAJORITÉ DES PAYS EUROPÉENS

Nous le constatons, la substitution en France d'usages des combustibles fossiles par des usages électriques permet simultanément de réduire la consommation en énergies primaires fossiles, donc de diminuer la dépendance énergétique de la France, et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'intérêt des substitutions vers l'électricité est évident, du fait du faible contenu en CO₂ du kWh électrique français. En ce qui concerne le parc hexagonal de production d'EDF, environ 95 % de l'électricité produite n'émet pas de CO₂, du fait du recours à la production nucléaire et hydraulique, faisant d'EDF un des énergéticiens européens émettant le moins de gaz à effet de serre. Mais il est intéressant de noter que les technologies performantes de l'électricité (pompes à chaleur, induction industrielle, transports électriques...) conservent un bilan positif dans la majorité des autres pays européens, en comparaison des émissions de CO₂ des usages brûlant des combustibles fossiles, pétrole et gaz.

Ainsi, l'électrification progressive des usages de l'énergie, qui s'est engagée et développée tout au long du 20^e siècle (éclairage, transport urbain et ferroviaire, appareils ménagers, technologies de l'information...) se poursuivra au 21^e siècle, tout en permettant de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre.

UNE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DURABLEMENT PEU ÉMETTRICE DE CO₂ : UN MIX NUCLÉAIRE + ÉNERGIES RENOUVELABLES

Avec le développement des énergies renouvelables, le modèle historique du système électrique – grands moyens de production, transport, puis distribution pour amener les électrons jusqu'aux clients – va sensiblement évoluer. Le réseau de distribution, qui sera alimenté par l'ensemble des productions locales (panneaux photovoltaïques des maisons et des centrales solaires, éoliennes, biomasse, etc.) et par ses soutirages au réseau de transport tendra à devenir un réseau de « circulation » et de mutualisation de toutes ces contributions. Nous ne développerons pas ici son fonctionnement futur, à la fois de plus en plus central, et aussi de plus en plus complexe, mais profitons-en pour rappeler qu'un développement éco-efficace des énergies renouvelables n'a de sens, notamment en termes de sécurité et de foisonnement, que si elles sont mutualisées au sein du réseau de distribution. Oublions, donc, les idées d'autarcie locale en énergie, mis à part pour quelques cas bien spécifiques !

QUELLES PERSPECTIVES POUR CERTAINES DES TECHNOLOGIES PARMIS LES PLUS PROMETTEUSES ?

Les décisions d'investissement de chacun des acteurs dans les futurs moyens de production d'électricité dits centralisés se fondent évidemment sur un calcul économique. Cependant, ce calcul a encore du mal à prendre en compte aisément la dimension « carbone », la tendance du marché des permis d'émissions en Europe n'étant, à tout le moins, pas très lisible aux horizons de temps concernés par ces décisions d'investissement.

En ce qui concerne les énergies renouvelables hors hydraulique, le développement des filières découle essentiellement des politiques d'incitation nationales : tarifs de rachat, certificats verts, etc.

Si nous nous plaçons maintenant d'un point de vue technologique, nous pouvons escompter de fortes ruptures dans les coûts de production (diminution par 4 ou 5, d'ici à 2030) et dans les rendements des futures cellules photovoltaïques. Même si son déploiement reste actuellement marginal (et il le restera encore de nombreuses années) en termes de puissance installée, le solaire photovoltaïque fera partie intégrante du futur mix de production, notamment avec le développement des cellules de troisième génération. En matière de bilan carbone, si la phase de production d'électricité est sans émissions de CO₂, il ne faut pas omettre de comptabiliser les émissions liées à la fabrication des panneaux, étroitement liées au contenu en CO₂ du kWh utilisé : ainsi, le bilan carbone d'un panneau fabriqué en Chine est sensiblement plus

élevé que celui d'un panneau qui aurait été fabriqué en France...

La filière éolienne est relativement mature et les coûts de production d'électricité associés ont déjà bénéficié de baisses significatives. La question principale qui se pose, dans le cadre d'un déploiement massif de l'énergie éolienne, réside dans les difficultés à exploiter et intégrer dans le réseau cette production très peu flexible, tant que nous ne disposerons pas de moyens de stockage de l'énergie électrique efficaces et de grande capacité. Quant à l'éolien off-shore, il bénéficiera à son tour de baisses des coûts de production, en partie dus à l'effet de taille des turbines (environ 10, voire 15GW ?), qui compenseront en partie le renchérissement des matières premières que nous connaissons actuellement. L'entretien et la connexion de ces fermes éoliennes off-shore à la plaque continentale resteront toutefois d'un coût durablement élevé.

Un mot sur la capture et le stockage de CO₂, ou « CCS », présenté par beaucoup comme la solution miracle à l'effet de serre. Effets d'annonce mis à part, il semble que de nombreuses difficultés technologiques doivent encore être surmontées pour envisager des opérations pilote de captage à grande échelle. La capture présente par ailleurs deux inconvénients majeurs : d'une part les procédés de captage consomment eux-mêmes beaucoup d'énergie et dégradent fortement le rendement de la centrale thermique ; d'autre part, cette capture sera très difficile à implanter sur les centrales existantes. Le concept même de centrales *capture-ready* se résume souvent à réserver de l'espace pour implanter à l'avenir les installations de capture du CO₂, mais sans garantie aujourd'hui qu'elles puissent, demain, s'insérer de manière efficace dans la centrale. Les questions d'acceptabilité et de faisabilité pour le transport et le stockage du CO₂ sont autant de difficultés à surmonter, qui laissent présager qu'un déploiement massif du CCS ne pourra s'opérer avant 2025-2030.

Dans notre modeste revue des technologies, mentionnons également les nécessaires recherches sur le stockage d'électricité (à toutes les échelles), une des clés qui pourraient bouleverser le fonctionnement du système électrique à l'avenir. Son intérêt est double : favoriser l'intégration des énergies renouvelables et intermittentes, en permettant au couple EnR + stockage de fournir un kWh garanti, contribuer au lissage des pointes de consommation et substituer aux moyens de production fortement carbonés, sollicités durant ces périodes de pointe, l'énergie apportée par les moyens de stockage. EDF réalise une telle expérimentation dans l'île de la Réunion, avec une batterie électrochimique capable de délivrer une puissance de 1MW pendant 7 heures.

Les perspectives de développement des énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien, énergies marines, biomasse...) ne permettent pas de penser raisonnablement que la somme de leur production puisse subvenir au socle des besoins en électricité de nos sociétés, même avec des programmes d'efficacité énergétique drastiques. Des moyens de production de grande capacité,

fonctionnant en base et en semi-base (c'est-à-dire à pleine puissance sur de longues durées) demeureront nécessaires, dans le futur mix de production d'électricité. Le choix du nucléaire répond à ce besoin et permet d'éviter un recours massif aux combustibles fossiles : moins d'émissions de CO₂ et moins de dépendance énergétique en sont les avantages immédiats.

Aujourd'hui, le parc de production d'EDF produit 95 % de son électricité sans émettre de CO₂, grâce à l'hydraulique et au nucléaire. A l'horizon 2020, ces émissions vont encore significativement diminuer, grâce à la contribution de l'EPR [*European Pressurized Reactor*] de Flamanville, au développement croissant de l'éolien et à la modernisation ou au remplacement des centrales au charbon.

DEUX PILIERS DE L'ÉCO-CONCEPTION ÉNERGÉTIQUE : L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET L'ÉLECTRIFICATION DES USAGES

Certains voudraient faire croire que les énergies fossiles, et en particulier le gaz, ont l'avantage en matière de bilan d'émissions de CO₂ dans une hypothèse de développement marginal de certains usages. Mais les chiffres des modèles et bilans énergétiques sont têtus :

l'intégration sur plusieurs années de telles options conduit inmanquablement à émettre significativement plus de gaz à effet de serre en France, par rapport à la situation actuelle !

Dès lors, le premier levier dans l'éco-conception de nos modes de consommation énergétique futurs est indubitablement l'efficacité énergétique, partout où elle peut être atteinte, sur l'ensemble des usages, y compris ceux utilisant l'électricité.

Ensuite, la poursuite de l'électrification des usages de l'énergie dans le bâtiment, l'industrie et les transports, dans une optique où le mix de production restera durablement peu émetteur de CO₂ (avec même une tendance baissière en France, à l'horizon 2020), permet de s'inscrire dans les objectifs ambitieux de réduction des GES. Dans plusieurs pays d'Europe, le recours annoncé aux centrales nucléaires doit également répondre au double enjeu de diminution de la dépendance aux énergies fossiles et de la cible de réduction du contenu en CO₂ du kWh produit, cible à laquelle concourt également le développement des énergies renouvelables.

Le fait que chaque pays en Europe et dans le monde s'astreigne à de telles ambitions pour « décarboner » son parc de production électrique à moyen terme milite en faveur de « davantage d'électricité pour moins de CO₂ ».

L'éco-conception et les matières premières renouvelables

La biodégradabilité : l'exemple des polymères

L'éco-conception fait souvent référence à la notion de biodégradabilité, mais que signifie exactement ce terme ?

Il existe plusieurs types de polymères naturels, issus de ressources renouvelables, mais comment mesurer leur biodégradabilité ?

Quels sont les obstacles au développement de ces produits et quelles mesures pourraient permettre d'y remédier ?

par **Alain COPINET***

L'augmentation du prix du pétrole, le souci d'un développement durable et le risque d'amenuisement des ressources fossiles ouvrent de nouvelles perspectives à l'utilisation des matières premières renouvelables, dont le développement fait partie des stratégies proposées par l'éco-conception. Le secteur industriel commence à s'intéresser à ces matières. Les attentes et les progrès sont en pleine expansion mais les incertitudes et les freins sont nombreux. D'autre part, la fabrication de nouveaux matériaux passe par une étape devenue à l'heure actuelle incontournable : la notion de biodégradabilité. Mais créer un matériau biodégradable signifie que l'on puisse prouver scientifiquement sa biodégradabilité.

minations qu'il est nécessaire de bien expliquer, de manière à ce que tous les acteurs participant à la production, la mise en forme, l'utilisation et enfin le traitement de ces matériaux, parlent et comprennent tous le même langage. En effet, il existe plusieurs manières de caractériser la dégradation d'un polymère, en fonction soit de la nature de la dégradation qu'il subit (fragmentation, biodégradation...), soit de la cause de cette dégradation (photo-dégradation). Ne seront traités ici que les phénomènes pouvant se dérouler dans des conditions aérobies.

La dégradation

Le terme « dégradation » désigne de manière générale toutes les altérations d'origine chimique et/ou physique qu'un matériau est susceptible de subir. Cependant, il est important de différencier les altérations que subit ce

* Université de Reims.

UNE TERMINOLOGIE ET DES DÉFINITIONS PRÉCISES

Le vaste domaine des polymères dits « biodégradables » véhicule un nombre important de termes et de déno-

matériau au cours de son utilisation (que l'on pourra assimiler à un phénomène de vieillissement non désiré), de celles qu'il subit lorsqu'il est traité, en fin d'utilisation, par stockage dans un milieu particulier (le compost, par exemple), de manière à le faire disparaître de manière totale ou partielle. C'est dans ce dernier cas que nous emploierons le terme dégradation.

La biodégradation

Le préfixe « bio » est parfois abusivement utilisé comme argument commercial, pour souligner le caractère respectueux de l'environnement d'un matériau donné. Or, il est important de réserver ce terme à des processus de dégradation qui mettent en jeu des organismes vivants, par l'intervention de différentes enzymes qui provoquent la dégradation.

La bio-assimilation

La « bio-assimilation » est relative à la disparition complète du matériau du milieu dans lequel il est placé (1). Idéalement, le matériau est minéralisé, sous forme de dioxyde de carbone et d'eau d'une part, et transformé sous forme de biomasse, d'autre part. On ne considère plus ici le type de dégradation subi par le polymère, mais sa capacité à être totalement transformé en composés assimilables dans un milieu particulier. On peut rapprocher cette notion de celle de « biodégradation ultime » (ou biodégradation totale), qui correspond à la minéralisation totale : le matériau est totalement dégradé par l'action des micro-organismes, sous forme de dioxyde de carbone (dans des conditions aérobies) ou de méthane (dans des conditions anaérobies), d'eau, de sels minéraux et de nouveaux constituants cellulaires (biomasse).

Pour mettre en évidence la bio-assimilation d'un matériau, il est nécessaire d'établir le bilan carbone de la biodégradation (2) en un temps donné. En présence d'oxygène, pour un polymère composé uniquement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène on aura :

$$C_{\text{polymère}} = C_b + C_g + C_d + C_{nd}$$

Où :

- $C_{\text{polymère}}$ est la quantité de carbone totale contenue dans le polymère
- C_b la quantité de carbone du polymère transformé sous forme de biomasse
- C_g la quantité de carbone minéralisée sous forme de dioxyde de carbone
- C_d la quantité de carbone du polymère transformée en sous-produits de dégradation solubles
- C_{nd} la quantité de carbone du polymère résiduelle, qui n'a pas encore été dégradée.

Pour que la biodégradation d'un polymère mène à sa bio-assimilation, les termes C_d et C_{nd} du bilan doivent

être nuls. Cependant, la disparition totale du polymère peut être plus ou moins longue et, par conséquent, les termes C_d et C_{nd} sont dépendants du temps. Ainsi, si ces sous-produits de dégradation qui perdurent dans le milieu sont des composés facilement métabolisables par la flore microbienne (sucres, monomères ou oligomères de faibles poids moléculaire...), le matériau pourra tout de même être considéré comme **bio-assimilable**.

QUELS SONT LES POLYMÈRES EXISTANT ACTUELLEMENT SOUS LA DÉNOMINATION DE POLYMÈRES BIODÉGRADABLES ?

Il existe plusieurs types de polymères biodégradables, que l'on peut classer de différentes manières en fonction de leur origine (ressources fossiles ou renouvelables), de leur nature chimique ou encore de leur processus de biodégradation. Le but ici n'est pas de faire un inventaire exhaustif, mais plutôt de présenter quelques groupes représentatifs de ce que sont ces matériaux aujourd'hui. Une attention toute particulière sera portée aux polyesters, car c'est la classe de polymères la plus largement représentée sur le marché (soit seuls, soit dans des mélanges avec des polymères naturels issus de ressources renouvelables, comme l'amidon).

LES MATÉRIAUX À BASE DE POLYMÈRES NATURELS

L'acétate de cellulose

L'acétate de cellulose est obtenu par l'action de l'anhydride acétique sur le coton ou la pulpe de bois. (3).

L'amidon

L'amidon peut être employé dans des mélanges, avec d'autres polymères courants ou biodégradables, de plusieurs manières différentes : sous sa forme granulaire « native », sous forme d'amidon déstructuré ou encore après une plastification avec de l'eau ou du glycérol. (4)

Les polyesters

Les polyesters sont les principaux représentants des polymères que l'on peut réellement considérer comme biodégradables. De par leur nature chimique, ce sont

les plus sensibles aux différentes attaques susceptibles de provoquer une biodégradation.

Le poly (acide lactique) ou PLA

La synthèse du PLA est particulièrement intéressante, parce qu'il peut être obtenu indirectement à partir de ressources renouvelables (5). L'acide lactique peut être produit par fermentation du glucose, par diverses souches microbiennes du genre *Lactobacillus*, en fonction du polysaccharide naturel qui fait office de substrat.

Le poly (ϵ -caprolactone) ou PCL

Le PCL (Figure 1) est obtenu par polymérisation, par ouverture de cycle du ϵ -caprolactone (obtenu à partir du pétrole) (6).

Le poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) et poly(3-hydroxybutyrate-co-hydroxyvalérate) (PHBV)

Le PHB (Figure 2) fait partie des poly (β -hydroxyalcanoates). Il est produit bio-technologiquement par certaines souches microbiennes, lorsque celles-ci sont placées dans certaines conditions nutritives (7).

Le poly (butylène succinate-co-butylène adipate) (PBSA), poly (butylène succinate) (PBS) (Pet poly(éthylène succinate) (PES)

Ces Polymères (Figure 3) sont obtenus par polycondensation de glycols (éthylène glycol ou 1,4-butandiol) avec l'acide adipique et/ou l'acide succinique. Ils sont principalement commercialisés sous le nom de Bionolle par la société Showa High Polymer, basée au Japon.

Poly(ester-amide)

Ces polymères (Figure 4) sont synthétisés à partir d'acide adipique, d'éthylène glycol et d'un acide aminé, tel que la glycine, la leucine ou la phénylalanine. Ils sont principalement connus sous l'appellation commerciale BAK (produit par Bayer).

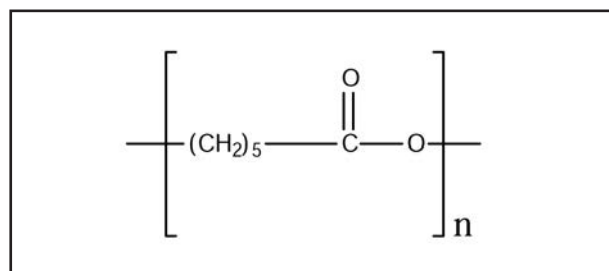


Figure 1 : Formule développée de poly (ϵ -caprolactone).

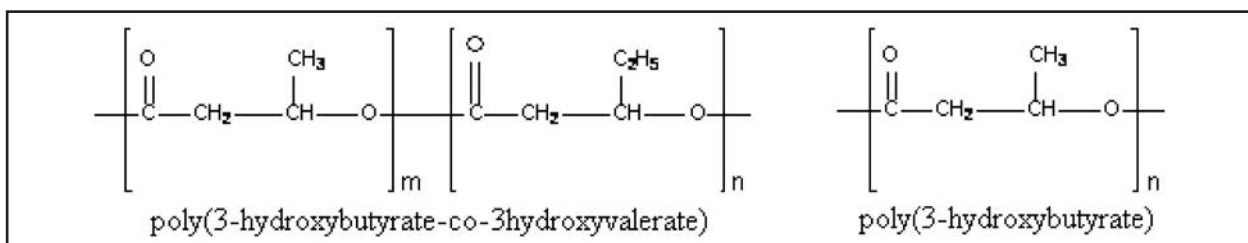


Figure 2 : Formule développées des poly(β -hydroxyalcanoates) biodégradables.

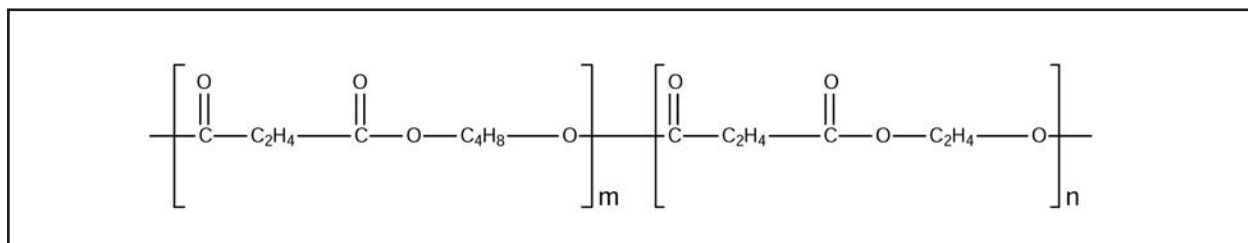


Figure 3 : Formule développée du poly (butylene succinate-co-butylene adipate).

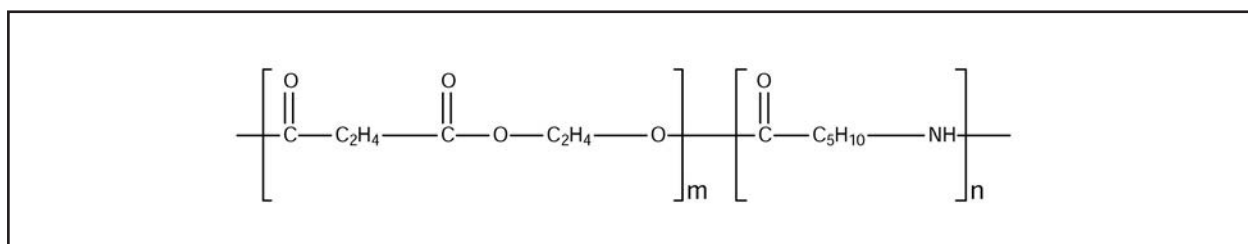
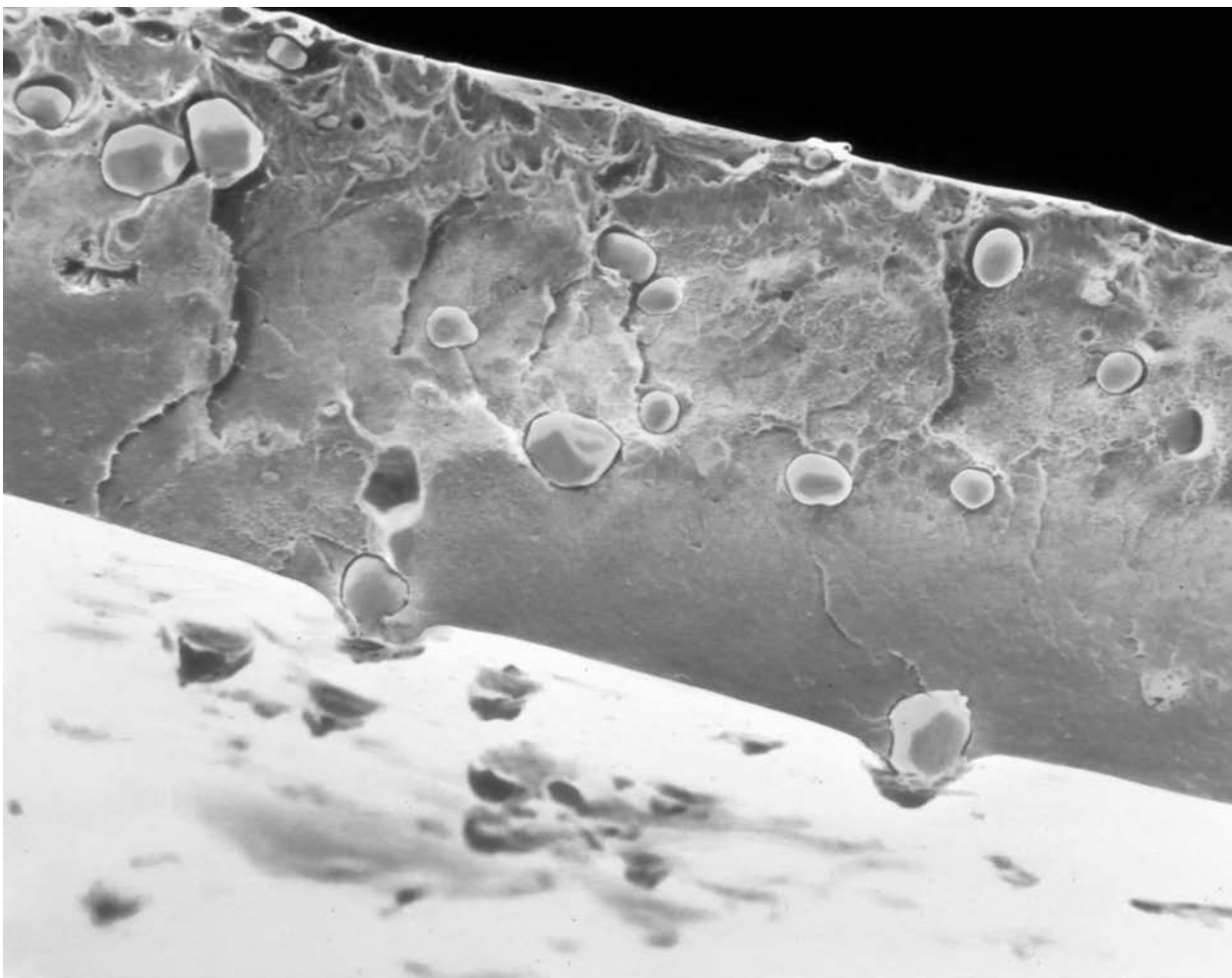


Figure 4 : Formule développée d'un poly(ester-amide).



Plastique biodégradable.

© SCIENCE PHOTO LIBRARY-COSMOS

COMMENT MESURER LA BIODÉGRADABILITÉ ?

De nombreuses organisations internationales et nationales ont travaillé dans le domaine de la biodégradabilité et du compostage, afin de préciser ces notions en les encadrant par des normes claires et des tests bien définis. Le COBIO (8) et IBAW (9) œuvrent dans le but de promouvoir ces normes.

La norme européenne EN 13432 (10) permet de déterminer, grâce à des tests normalisés ISO, la biodégradabilité et la compostabilité dans un temps donné et de contrôler la concentration des métaux lourds et l'absence de toxicité.

Le seuil de biodégradabilité demandé (de 90 %) doit être atteint en 6 mois au maximum.

La norme EN 13432

La norme EN13432 spécifie les exigences de biodégradabilité des emballages, ainsi que les tests à mettre en œuvre afin d'évaluer leur transformation en compost. Quatre critères de compostabilité sont pris en compte :

Le premier critère porte sur les caractéristiques des matériaux qui fixent la composition en matière organique (au minimum 50 %) et la concentration maximum pour 11 métaux lourds.

Concentration maximum en métaux lourds (11).

Métal	ppm	Métal	ppm
Zn	< 150	Pb	< 50
Cu	< 50	Hg	< 0,5
Ni	< 25	Cr	< 50
Cd	< 0,5	Mo	< 1
Se	< 0,75	As	< 5
F	< 100		

Le deuxième critère concerne la biodégradation des matériaux dans un délai déterminé. Les tests de mesure de la biodégradation utilisés sont les tests ISO 14855(12) ou ISO 14852 (13), par évaluation de CO₂ dégagé, et ISO 14851 (14), par mesure d'O₂ absorbé. Le seuil acceptable de biodégradabilité est de 90 %, sur une période maximum de 6 mois.

Le troisième critère considère les produits finaux et la désintégration, c'est à dire l'aptitude du matériau à se fragmenter. La désintégration est évaluée par compos-

tage en essai pilote (ISO FDIS 16929). La masse des fragments retenus sur un tamis de 2 mm ne doit pas dépasser 10 % de la masse initiale du matériau, après 12 semaines.

Le **dernier critère** est axé sur la qualité du compost. Il sera évalué par la mesure des paramètres physico-chimiques (masse volumique, teneur en solide...) et des tests d'écotoxicité.

NF EN 13432	Exigences relatives aux emballages valorisables par biodégradation et compostage (France, Europe)
NF U 52001	Biodégradabilité des plastiques en agriculture

En outre, pour remédier à l'absence de normes en la matière ou pour garantir la conformité à une norme, des organismes de certification ont créé des labels :

Société	Label	Pays
AIB Vinçotte	«OK Compost», label de conformité avec EN 13432, reconnu par l'AFNOR et le LNE	Belgique
AIB Vinçotte	«OK Biodégradable», label de biodégradabilité dans le sol	Belgique
DIN CERTCO	label de conformité avec EN 13432	Allemagne

DES INTÉRÊTS ENVIRONNEMENTAUX, ET DES OBSTACLES AU DÉVELOPPEMENT

Leur intérêt est de réduire les inconvénients liés à l'utilisation des ressources pétrolières. En matière d'effet de serre, les analyses de cycle de vie montrent généralement que l'utilisation des bio-plastiques d'origine végétale, en substitution aux polymères d'origine pétrolière, permet d'éviter l'émission de 30 à 75 % de CO₂ (15, 16).

Mais les quantités produites restent confidentielles et les efforts de recherche et de développement considérables, les coûts fixes (dont environ 30 % sont attribuables à la R&D) ayant une part considérable dans le calcul du prix de revient des bio-plastiques.

En outre, le coût des matériaux biodégradables reste au moins une fois et demie supérieur à celui des plastiques d'origine pétrochimique. En particulier, les produits biodégradables à base d'amidon sont d'une fois et demie à quatre fois plus chers que les polyéthylènes.

DES SOLUTIONS

La promotion des bio-plastiques peut prendre différentes formes : interdiction de produits concurrents, taux d'incorporation minimum, recours à des normes

et à des critères de valorisation, exonérations fiscales, organisation de la filière de valorisation (filière «compost»). Il est par conséquent indispensable, avant de procéder à toute substitution d'un polymère conventionnel par un polymère biodégradable, d'envisager en priorité sa valorisation biologique. Si l'on veut parler d'éco-conception et de biodégradabilité, il apparaît incontournable de créer un terrain favorable au développement des biomatériaux, c'est-à-dire de développer une volonté commune, impliquant tous les acteurs concernés : des agriculteurs jusqu'aux consommateurs, en passant par la recherche, l'industrie, la grande distribution et l'administration.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) (M.) VERT, DOS SANTOS, (S.) PONSART, (N.) ALAUZET, (J.L.) MORGAT, (J.) COUDANE & (H.) GARREAU, Degradable polymers in a living environment: Where do you end up? *Polymer International*, Vol 51, 840-844, 2002.
- (2) (A.) LONGIERAS, Thèse de Doctorat Université de Reims Champagne-Ardenne : Mise au point d'un milieu solide inerte pour l'étude de la biodégradation des polymères dans un compost, 2005.
- (3) (J.D.) GU, (D.T.) EBERIEL, (S.P.) Mc CARTHY, (R.A.) GROSS : Cellulose acetate biodegradability upon exposure to simulated aerobic composting and anaerobic bioreactor environments. *Journal of environment Polymer Degradation*, Vo 1, 143-153, 1993.
- (4) (P. J) Hocking, The classification, preparation and utility of degradable polymers. *J.M.S. REV. MACROMOL. CHEM. PHYS.*, vol. C32 (1), 35-54, 1992.
- (5) (D.) Garlotta, A litterature review of poly(lactic acid), *Journal of polymer and the environment*, vol. 9(2), 63-84, 2002.
- (6) (Y.) Tokiwa & (H.) Pranamuda, Microbial degradation of aliphatic polyesters. *Biopolymers*, vol.3(b), 85-103, 2001.
- (7) (A.K.) Mohanty, (M.) Mistra & (H.) Hinrichsen, Biofibres, Biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecules Materials and Engineering*, vol. 276/277, 1-24, 2000.
- (8) COBIO : Comité Français pour la Biodégradabilité
- (9) IBAW : International Biodegradable Polymers Association & Working Groups (Allemagne).
- (10) NF EN 13432, Emballage – exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation – Programme d'essai et critères d'évaluation de l'acceptation finale des emballages. Septembre 2000.
- (11) De Wilde (B.), *Compostable packaging – a potential or a threat for compost?* Gent, Belgium: Organic Waste Systems, 2003.
- (12) NF EN ISO 14855 : Evaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques dans des conditions contrôlées de compostage, Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré. Janvier 2005.

(13) NF EN ISO 14852. – Evaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques en milieu aqueux. – Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré.

(14) NF EN ISO 14851. – Evaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plas-

tiques en milieu aqueux. – Méthode par détermination de la demande en oxygène dans un respiromètre fermé.

(15) Rapport PRO-BIP.

(16) Parution ADEME : «Des bioproduits pour l'agriculture», décembre 2004.

Le captage et le stockage géologique de CO₂ : une des solutions pour lutter contre le changement climatique

L'utilisation d'énergies fossiles apparaît nécessaire pendant encore de nombreuses années. Dans ces conditions, comment éviter que le CO₂ généré par l'usage de ces énergies ne se dilue dans l'atmosphère ? Le captage et le stockage géologique du CO₂ constituent une solution prometteuse.

par **Jean-Michel GIRES***

Lutter contre l'accumulation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère en captant le CO₂ pour le stocker dans le sous-sol, par exemple, semble tellement simple que l'on se demande pourquoi on n'y avait pas pensé plus tôt ! « Simple » ? C'est vite dit ! Encore faut-il trouver les technologies permettant une application concrète, à un coût acceptable et dans de bonnes conditions de sécurité, pour aujourd'hui comme pour demain... Mais, au-delà même de la technicité du processus, une réflexion s'impose, afin d'éviter d'y recourir à tort et à travers.

Commençons par un bref rappel de la situation. La combustion d'énergies encore majoritairement fossiles, pour l'agriculture, l'habitat, l'industrie et les transports, émet actuellement 29 milliards de tonnes (Gt) par an de gaz carbonique, au plan mondial. La concentration de CO₂ dans l'atmosphère est ainsi passée de 280 ppm en moyenne à la fin du XVIII^e siècle, avant la révolution industrielle, à 380 ppm en 2005 et elle continue d'augmenter, chaque année, de 1 à 3 ppm. Cette augmenta-

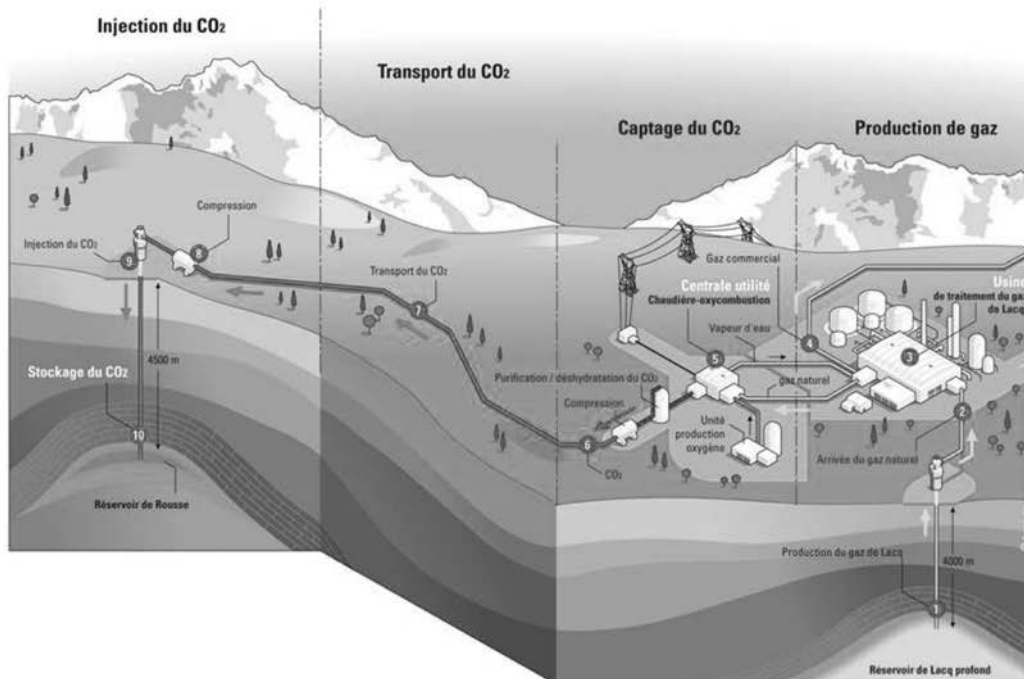
tion rapide de la concentration atmosphérique en CO₂ est telle que la moitié seulement des émissions générées par les activités humaines en une année semble pouvoir être absorbée par la planète, c'est-à-dire par les océans et les écosystèmes terrestres, qui agissent comme de véritables 'puits de carbone'.

Conséquence : d'ici à 2100, la température pourrait augmenter de 1,5°C à 4°C (1) selon les scénarios du Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). La lutte contre ce changement climatique appelle, dès lors, trois questions.

* Directeur Développement durable et Environnement de Total.
Pour en savoir plus : www.total.com

(1) Cette fourchette large s'explique, d'un côté, par les incertitudes sur les scénarios d'émissions du XXI^e siècle, dépendant des futures décisions politiques ainsi que des avancées technologiques, et de l'autre, par la complexité des phénomènes à prendre en compte pour prévoir l'évolution du climat.

Pilote CO₂



1 - Captage - Stockage CO₂ - Février 2007



CONSOMMATION D'ÉNERGIE : TROIS QUESTIONS

A-t-on besoin d'autant d'énergie qu'on en consomme actuellement sur la planète ?

La réponse est non. Sans entraver le développement économique, on peut agir, à la fois par la conservation et par l'efficacité énergétiques. La conservation, que d'aucuns appellent plus communément les « *économies d'énergie* », consiste à utiliser des applications moins consommatrices d'énergie : en matière de transport, par exemple, substituer le vélo à la voiture, ou le train à l'avion. L'efficacité, que certains nomment « *performance* », vise à rendre la même application moins consommatrice d'énergie : pour reprendre l'exemple du transport, préférer une voiture consommant 5 litres/100 km à une autre exigeant 10 litres/100 km. Ce qui vaut pour le transport vaut également pour l'habitat, pour l'agriculture et bien sûr pour l'industrie, qui améliore déjà de 1 % par an son efficacité énergétique. Au-delà des efforts en cours, d'énormes progrès restent à faire dans le domaine de la conservation et de l'efficacité énergétiques. Là se situe le premier levier pour réduire les émissions de GES.

Est-on capable de satisfaire les besoins énergétiques de l'humanité avec des énergies autres que carbonées ?

La question revêt une double importance puisqu'elle ne soulève pas seulement le problème du changement climatique, mais aussi celui de l'épuisement progressif des réserves d'hydrocarbures. La solution d'un « *mix* » énergétique, composé de sources complémentaires, s'impose donc, à ce double titre. Parallèlement aux énergies carbonées, nous devons recourir aux énergies renouvelables et alternatives, ainsi qu'au nucléaire.

Les énergies renouvelables (biomasse, éolien, hydraulique, solaire...) ont besoin de gagner en termes d'efficacité économique... et même d'efficacité écologique, car certaines d'entre elles ne présentent pas que des atouts en la matière. Les biocarburants de première génération deviennent l'objet de polémiques, car les cultures nécessaires à leur production s'effectuent au détriment d'autres besoins, notamment alimentaires, dans l'usage des terres agricoles. L'hydroélectricité, longtemps promue, pose dorénavant problème quand il s'agit d'ériger de gros barrages, qui ennoient des régions entières...

Cela, sans nous appesantir sur le débat économique, ni sur celui concernant les effets de taille : il est difficile, aujourd'hui, d'aligner, avec les énergies renouvelables, des effets quantitatifs aussi importants que ceux que

l'on obtient avec les énergies fossiles. Certes, les énergies renouvelables se développent (la capacité de production d'électricité photovoltaïque croît ainsi de 40 % par an dans le monde) mais cette croissance ne peut pas déboucher sur une substitution significative à des énergies fossiles avant plusieurs décennies.

Les énergies alternatives en sont, quant à elles, pour la plupart, au stade de la R&D ou de la démonstration. Les travaux sur la production d'hydrocarbures liquides *via* la conversion chimique – autrement dit le « X To L » (Biomass To Liquids, Coal To Liquids, Gas To Liquids) – se révèlent prometteurs, mais ils en sont encore au niveau des pilotes. Plus avancé, car déjà utilisé pour l'alimentation des appareils portables et – à titre d'expérimentation – pour les véhicules automobiles, le système hydrogène-pile à combustible ne pourra être étendu à grande échelle dans le transport avant plusieurs décennies. Qui plus est, l'hydrogène n'est pas une énergie primaire, mais un vecteur énergétique, né du reformage d'hydrocarbures, de gaz de synthèse ou de l'électrolyse de l'eau à partir de toute forme d'électricité (éolienne, hydraulique, nucléaire, etc.).

Bien qu'appelées à prendre une part croissante dans le « mix » énergétique, les énergies nouvelles et alternatives ne sont pas encore parvenues à maturité et, en attendant qu'elles le soient, on continue à utiliser largement les énergies fossiles et, donc, à émettre du CO₂ dans l'atmosphère.

Le nucléaire, qui présente précisément l'avantage de ne pas émettre de CO₂, deviendra, demain, un acteur incontournable de la diversification énergétique. Mais il demeure jusqu'ici limité à la production d'électricité et son acceptabilité ne fait pas toujours l'unanimité.

Si on ne peut se passer des énergies fossiles et si la plupart d'entre elles sont condamnées à générer du CO₂, que faire, pour éviter que celui-ci ne se dilue dans l'atmosphère ?

Au-delà des progrès possibles, grâce à la conservation et à l'efficacité énergétiques ou à l'utilisation des énergies non carbonées, il faut travailler à des solutions qui permettent de diminuer drastiquement les émissions de CO₂ émanant des énergies fossiles. C'est de cette nécessité qu'est né le concept du captage et stockage géologique de CO₂ (CSC).

Même si, à la lumière de ce qui précède, le CSC apparaît comme une solution parmi d'autres pour lutter contre le changement climatique, et non comme une panacée, les chiffres avancés par les experts du GIEC soulignent l'importance de l'enjeu : cette technologie serait susceptible de capter de 80 à 90 % du CO₂ émis par une centrale électrique et de traiter, d'ici à 2050, de 20 à 40 % (2) des émissions mondiales de CO₂. Afin d'explorer cette voie, il est donc nécessaire de réaliser dès à présent des projets pilotes, comme celui du bassin de Lacq, dont Total a annoncé le lancement, le 8 février

2007. Nous y reviendrons, bien sûr, mais, auparavant, faisons ensemble un tour d'horizon des différentes technologies existantes ou à l'étude.

Le CSC comporte trois étapes : le captage, le transport et le stockage.

LE CAPTAGE-STOCKAGE DE CO₂ : UNE DES RÉPONSES POSSIBLES

Les techniques de captage

La première phase du CSC consiste à capter le CO₂ émis dans les fumées de combustion et à le séparer des autres composants principaux, notamment la vapeur d'eau et l'azote. Il existe trois techniques, compatibles avec les différents types d'installations de production d'énergie.

- **Le captage par précombustion** : il permet de produire, par un processus chimique, un gaz de synthèse à partir du combustible carboné, puis d'en séparer le CO₂, avant de fabriquer les produits de synthèse ou de brûler l'hydrogène pour produire l'énergie. Cette combustion ne génère alors plus que de la vapeur d'eau. Avec cette technique, le captage du CO₂ s'effectue donc en amont des installations de production d'énergie.

- **Le captage par postcombustion** : le CO₂ est extrait des fumées issues de la combustion classique du charbon, du gaz, du pétrole ou encore de la biomasse, donc en aval des opérations. Les procédés mis en œuvre sont physiques ou chimiques, selon les types de solvants utilisés. Cette technique est la mieux maîtrisée mais, au stade actuel de son développement, elle demeure coûteuse et consommatrice d'énergie.

- **Le captage par oxycombustion** : il consiste à remplacer l'air par de l'oxygène, dans la chaudière, pour obtenir, à la sortie, une fumée très concentrée en CO₂ (à 90 %, voire à 95 %). La combustion à l'oxygène est utilisée avec succès depuis de nombreuses années pour améliorer les performances de certains procédés industriels, dans l'industrie du verre en particulier, mais elle demeure en phase de démonstration dans les opérations de captage du CO₂.

Le transport

Après son captage, le CO₂ est dirigé vers son lieu de stockage, soit par voie maritime, soit par gazoduc. Dans les deux cas, le transport s'effectue le plus souvent en

(2) Cette fourchette est calculée en fonction de la volonté politique des pays concernés et des moyens technologiques mis en œuvre.

phase «dense», forme comprimée ou refroidie du CO₂ (pour en réduire le volume).

- la voie maritime : les bateaux sont du même type que ceux transportant du GPL (gaz de pétrole liquéfié) ;
- le gazoduc : son utilisation est également bien rodée, puisque les premiers gazoducs de transport de CO₂ sont entrés en service, aux Etats-Unis, au début des années 70. Ils s'y étirent aujourd'hui sur plus de 4 000 km, acheminant plus de 40 millions de tonnes de CO₂ par an (3).

Les techniques de stockage

L'objectif est de stocker géologiquement le CO₂ pendant des centaines, voire des milliers d'années, pour qu'il ne contribue pas à l'effet de serre dans l'atmosphère. La technologie est déjà connue dans l'industrie pétrolière et gazière, où le CO₂ est injecté dans les gisements en cours d'exploitation pour améliorer le taux de récupération du pétrole. Concernant le CSC, le stockage géologique est l'axe retenu par la majorité des pays industrialisés. Trois sortes de formations géologiques souterraines se révèlent aptes au stockage.

- **Les gisements d'hydrocarbures épuisés ou en phase de déclin** : les réservoirs de pétrole ou de gaz épuisés (« déplétés ») offrent l'avantage d'avoir prouvé leur étanchéité pendant plusieurs millions d'année. Les capacités mondiales de stockage y seraient, selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), de l'ordre de 900 milliards de tonnes de CO₂.
- **Les formations salines profondes** : ces nappes souterraines d'eau très salée, impropre à la consommation ou

(3) Il s'agit de CO₂ principalement extrait de gisements pour améliorer le taux de récupération sur des champs de pétrole.



© Paul Langrock/ZENITH-REA

Projet européen CO₂ SINK.

travaux de recherche doivent être menés pour étudier la porosité et la perméabilité des veines de charbon, qui risquent d'être trop faibles pour permettre au CO₂ de se fixer en quantités importantes.

LA BAISSÉ DU COÛT DES OPÉRATIONS DE CSC : UN ENJEU ESSENTIEL

Le coût des opérations de captage, transport et stockage du CO₂ dépend de nombreux paramètres : technologies de captage employées, infrastructures industrielles concernées (puissance, rendement, type et prix du combustible utilisé, etc.), distances à parcourir pour le transport et méthodes de stockage sélectionnées.

Au stade actuel des programmes en cours à travers le monde, le coût de l'ensemble de la chaîne varie entre 60 et 100 euros par tonne de CO₂ captée (« abattue »). Pour les installations de combustion, la phase du captage représente, à elle seule, les deux tiers de ce coût. Par ailleurs, elle génère, par elle-même, une consommation

à l'irrigation, sont présentes un peu partout dans le monde, sous la terre ou sous la mer. Les capacités mondiales de stockage y seraient de 400 à 10 000 milliards de tonnes de CO₂. Mal connus à ce jour, ces sites nécessitent un effort de recherche pour caractériser et préciser leur comportement à long terme.

- **Les veines de charbon non exploitables**, car trop profondes ou trop peu épaisses : le CO₂ est absorbé, c'est-à-dire retenu, par le charbon. Ce mécanisme provoque en outre la libération du méthane qui, naturellement fixé à la surface du charbon, peut être ainsi récupéré. Les capacités mondiales de stockage y seraient de l'ordre de 40 milliards de tonnes de CO₂. Là encore, des

de 10 à 40 % d'énergie supplémentaire par rapport à une infrastructure équivalente mais dénuée de système de captage. De nombreuses études économiques, dont celles du GIEC, estiment que le CSC pourra prendre une place significative, si son coût est réduit à un niveau voisin de 40 euros par tonne de CO₂ stockée. La baisse des coûts du CSC est donc un enjeu essentiel pour les programmes expérimentaux actuels.

DE NOMBREUX PROGRAMMES EXPÉRIMENTAUX

De multiples programmes internationaux sont menés pour tester les technologies de captage et les sites de stockage, avec le soutien de partenaires (publics et privés). Depuis le milieu des années 90, Total est engagé dans une dizaine de projets de R&D, ainsi que dans trois réalisations pétrolières et gazières : Weyburn au Canada, Sleipner et Snohvit en Norvège. Le Groupe a franchi une nouvelle étape en lançant un projet pilote dans le bassin de Lacq, qui permettra de tester la chaîne complète du processus, depuis l'installation émettrice de CO₂ dans une chaudière jusqu'au lieu de stockage, *via* le transport par gazoduc (voir encadré). Un des objectifs de ce projet pilote est de parvenir à une réduction substantielle des coûts, évoqués ci-dessus, et de la surconsommation d'énergie jusqu'alors inhérente aux procédés utilisés, afin de permettre la diffusion de cette technologie. Celle-ci pourrait, à terme, concerner toutes les installations industrielles produisant plus de 500 000 tonnes de CO₂ par an, soit environ 8 000 sites dans le monde (en particulier, des centrales électriques).

LE DÉFI DE L'ACCEPTABILITÉ

Si le stockage géologique du CO₂ semble une piste intéressante pour lutter contre le changement climatique, de nombreuses parties prenantes ont néanmoins besoin de s'assurer que « *le remède n'est pas pire que le mal* » et que le fait de vivre avec du CO₂ sous les pieds ne présente pas de risque significatif.

Ici, le groupe pétrolier et gazier qu'est Total a un rôle important à jouer, en liaison avec l'expertise technique de l'État, de ses établissements publics et du monde universitaire. Habitué à réinjecter des fluides dans le sous-sol à travers nos activités d'exploration-production, nous semblons bien placés pour remplir les conditions nécessaires à une bonne maîtrise des opérations d'injection et de surveillance à long terme des stockages de CO₂. Cela ne nous dispense pas d'un dialogue constructif avec les riverains de nos opérations. Depuis l'origine à l'écoute des questions que peuvent se poser ceux du projet pilote lancé dans le bassin de Lacq, nous avons eu à cœur de mettre une large information à leur disposition et d'organiser un processus de concertation publique à leur intention.

Le fonctionnement du pilote du bassin de Lacq

Pour la première fois, un programme va tester en France la chaîne complète du processus de captage et stockage du CO₂, depuis l'installation émettrice (une chaudière) jusqu'au stockage souterrain, *via* le transport par gazoduc (4).

Il s'agit de convertir en oxycombustion l'une des cinq chaudières de vapeur existantes de la centrale du site de Lacq, d'une puissance de 30 MW thermiques, de capter et de comprimer les émissions de CO₂ pour les transférer ensuite par gazoduc (5) sur 27 km, et les injecter ensuite dans un réservoir en fin de vie du gisement de gaz de Rousse, à une profondeur de 4 500 m.

Le pilote, qui produira environ 40 tonnes par heure de vapeur utilisée par les industries du site, émettra sur deux ans jusqu'à 150 000 tonnes de CO₂, qui seront captées et stockées. Le site du puits de Rousse fera l'objet d'une surveillance particulière, avec des capteurs répartis à la surface et en fond de puits pour mesurer l'injection, la température et la concentration de CO₂.

Ce projet pilote, qui devrait démarrer en mars 2009, après plus de deux ans d'étude et de préparation, vise trois objectifs principaux :

- améliorer la maîtrise de la filière oxycombustion, notamment en vue de son utilisation pour la production des huiles extra-lourdes ;
- réduire de 50 % le coût de captage du CO₂, par rapport aux procédés existants ;
- développer une méthodologie et des outils de surveillance afin de démontrer, à grande échelle, la fiabilité et la pérennité du stockage de CO₂ à long terme.

Son coût est entièrement pris en charge par le groupe Total.

(voir schéma, page 57)

Au-delà même de l'acceptabilité, c'est le défi de la sécurité et de la responsabilité des installations industrielles qui imprègne aujourd'hui la culture de l'entreprise, défi qui se traduit très concrètement par un maximum de prévention, en termes d'études, d'expériences, de simulations, d'évaluation, d'écoute, préalables à toute décision.

(4) Total est opérateur de ce projet, dans le cadre d'un partenariat technologique avec Air Liquide et de plusieurs collaborations, dont celles d'Alstom, de l'Institut français du pétrole (IFP), du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et du Centre national de recherche scientifique (CNRS).

(5) Le projet pilote bénéficiera du gazoduc existant, qui transporte le gaz naturel (exploité depuis trente ans), du champ de Rousse vers l'usine de Lacq.

D'AUTRES PISTES

En l'état, le CSC représente une voie très prometteuse dans la lutte contre le changement climatique. Mais il n'est pas interdit d'imaginer d'ores et déjà l'étape suivante : ne pas se contenter de stocker le CO₂ dans le sous-sol de façon passive, mais trouver des façons de le valoriser dans des produits utiles au développement des activités humaines.

Lorsqu'il n'est pas émis en quantités excédentaires, le CO₂ joue un rôle positif dans le cycle de vie de la planète : il est utilisé par les plantes, *via* la photosynthèse chlorophyllienne, et l'on sait déjà accélérer la pousse de fleurs sous serre, en enrichissant l'atmosphère avec du CO₂. Peut-être que, demain ou après-demain, on saura

aussi favoriser la croissance de micro-algues en les stimulant, elles aussi, avec du CO₂? Peut-être que l'on saura, un jour, transformer le CO₂ par des réactions chimiques en des produits carbonés, qui seront, de nouveau, employés pour répondre à nos besoins énergétiques ?

Néanmoins, ces hypothèses restent encore à démontrer. On ne possède que quelques pistes de réflexion, très en amont. Mais ce n'est pas parce qu'il n'existe encore aucune solution industrielle ni économique qu'il ne faut pas y travailler, en rêvant que, d'ici à quelques décennies, voire quelques siècles, l'humanité saura faire quelque chose d'utile du CO₂ stocké.

C'est là, en tout cas, un domaine complémentaire de R&D, que nous souhaitons explorer, avec nos partenaires, dans le futur.

L'éco-conception est-elle rentable pour les entreprises ?

Sondage après sondage, les consommateurs ne cessent de proclamer leurs préoccupations environnementales mais concrétisent-ils vraiment ce souci dans leur comportement en matière d'achats ? Les entreprises se vantent volontiers de leur performance en matière d'environnement mais cherchent-elles toujours à concevoir et promouvoir des produits « verts » ? Dans ce contexte, quel doit être le rôle de la puissance publique ?

par **Matthieu GLACHANT***

INTRODUCTION

Concevoir des produits plus « verts » relève pour l'essentiel des entreprises et, dans une économie de marché, ces dernières recherchent d'abord – et c'est légitime – le profit. C'est en tout cas la prémisse sur laquelle je vais développer mon analyse (1). Quelles sont alors les conditions économiques dans lesquelles l'éco-conception est profitable aux entreprises qui la pratiquent ? Plus précisément, quel est le coût de l'éco-conception pour une entreprise ? Quel est le consentement à payer des consommateurs pour des biens plus « verts » ? Suffit-il à compenser le coût de production d'un éco-produit, le plus souvent supérieur à celui du produit standard ?

En la matière, il convient de se méfier des discours dithyrambiques sur l'éco-conception et l'éco-consommation. La plupart des acteurs ont, en effet, intérêt à faire preuve d'enthousiasme. Les entreprises, d'abord, qui vantent ainsi leur performance environnementale. Les pouvoirs publics, ensuite, qui espèrent accélérer l'adhésion des producteurs et des consommateurs aux éco-produits. Les consommateurs, enfin, qui, sondage après sondage, ne cessent de proclamer leurs préoccupations environnementales et leur intention de les manifester à travers leur comportement en matière d'achats.

Mais il est difficile de traiter rigoureusement la question de la rentabilité économique de l'éco-conception car les données objectives, notamment quantitatives, manquent. A ma connaissance, il n'existe pas d'études sérieuses en France visant à répondre à ces questions. Quelques travaux étrangers sont disponibles, en particulier dans les pays nordiques (voir, par exemple, Bjørner *et al.*, 2004). Mais leurs résultats ne sont pas extrapolables à un contexte français très différent, notamment en matière d'environnement.

J'ai donc choisi d'adopter une démarche modeste, fondée sur trois études de cas, qui seront étudiées successivement : les écolabels, l'étiquette-énergie (qui signale les appareils électroménagers et les ampoules électriques économes en énergie) et les emballages ménagers. Dans ces trois domaines, je chercherai à mesurer le succès commercial et économique de l'éco-conception et à en comprendre les causes, afin de formuler des résultats plus généraux.

* Maître de Recherche en économie à Mines ParisTech, Directeur du Cerna – Centre d'économie industrielle.

(1) Cette assertion peut paraître trop abrupte et l'engouement actuel pour la Responsabilité Sociale de l'Entreprise semblerait la contredire. Mais les entreprises engagées dans ces pratiques avancent justement que les deux ne sont pas incompatibles entre elles. La vertu (environnementale, ou sociale) serait une condition nécessaire à la pérennisation des profits.

LES ÉCOLABELS

La qualité environnementale d'un produit n'est pas observable par le consommateur. Cette information doit lui être fournie. En économie industrielle, on parle de biens de confiance («credence goods»). Comme l'environnement est un attribut valorisé positivement par certains consommateurs, les entreprises commercialisant les éco-produits peuvent avoir la tentation de manipuler l'information en exagérant leur qualité environnementale. C'est pourquoi il est essentiel qu'un tiers, extérieur à la relation marchande, certifie la qualité environnementale des produits : c'est la raison d'être des écolabels.

Deux écolabels officiels sont délivrés, en France : la Marque NF Environnement et l'Ecolabel européen (voir les logos, figure 1). Le premier, créé en 1991 est géré et délivré par AFAQ AFNOR Certification. Créé en 1992 par une directive européenne, l'Ecolabel européen est reconnu dans les 25 pays membres de l'Union (il est également géré par AFAQ AFNOR).



Figure 1 : Les logos de la marque NF Environnement et de l'écolabel européen.

Bien que leur création ne remonte pas à hier, on peut difficilement parler de succès. En termes de participation des entreprises, d'abord : en 2006, seules 90 entreprises étaient titulaires, par exemple, du label NF Environnement. En outre, ces écolabels ne concernent que quelques catégories de produits : essentiellement les peintures et vernis, les détergents, le papier absorbant et le papier toilette, alors qu'il existe 37 classes de produits susceptibles d'être labellisés.

Enfin, le Tableau 1 montre que leur part de marché est, le plus souvent, quasi nulle : avec environ 20 % de part de marché, les peintures et vernis constituent la seule exception. Cela tient notamment au fait que les produits écolabellés sont des peintures acryliques à l'eau, moins chères que l'alternative, plus polluante, que sont les peintures glycérophthaliques.

Comment expliquer cet échec ? Le niveau d'information des consommateurs n'est a priori pas en cause. 58 % des Français connaissent, par exemple, l'écolabel européen, selon l'Eurobaromètre (2). C'est loin d'être ridicule, compte tenu du nombre de produits éco-labellés présents sur le marché.

Le fait que les écolabels signalent essentiellement une qualité environnementale est un point sans doute important. En cela, ils diffèrent d'autres labels, comme le label AB (pour Agriculture Biologique) ou l'étiquette-énergie, qui informent à la fois sur l'existence de bénéfices environnementaux et de bénéfices en termes de santé ou d'économies d'énergie. Or la qualité environnementale est un « bien public », qui profite à tous. Ses bénéfices ne sont que très partiellement appropriés par celui qui achète le produit. En conséquence, l'éco-consommation ne peut être qu'éthique. Le faible succès de l'écolabel suggère que les considérations morales influencent peu les comportements d'achat.

Il est d'ailleurs éclairant de rapprocher la marque NF Environnement et l'écolabel européen des labels « commerce équitable », qui signalent également une qualité non appropriable d'un produit. Et, là encore, les chiffres ne sont guère impressionnants : en 2006, alors que 160 marques proposaient plus de 1 500 produits (alimentaires et non alimentaires) labellisés Max Havelaar, chaque Français n'a consacré que 2,80 € à l'achat de ces produits (source : www.maxhavelaarfrance.org).

Qu'en est-il, quand un label signale à la fois des bénéfices environnementaux et des bénéfices plus personnels ? Je vais essayer de répondre à cette question, en prenant l'exemple des étiquettes-énergie.

(2) http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/pdf/studies/eurobarometer_survey.pdf

	Chiffre d'affaires annuel (marché grand public)	Part de marché des écolabels NF environnement et CE
Peintures et Vernis	600 M€	21,6 %
Détergents ménagers		
Nettoyants multi-usages	295 M€	1 %
Liquides vaisselle	181 M€	1,6 %
Lessives	1 073 M€	0,2 %
Détergents lave-vaisselle	213 M€	négligeable
Papiers absorbants et papier toilette	1 150 M€	0,01 %

Tableau 1 : Le marché français des produits éco-labellés en 2006 (Source : Hardouin, 2008).

LES ÉTIQUETTES-ÉNERGIE

Mises en place par la Communauté européenne depuis 1995, les étiquettes-énergie informent sur la consommation énergétique des appareils électroménagers et des ampoules électriques. Elles comportent 8 classes énergétiques, allant de la classe A++ (offrant les meilleures performances en matière d'économies d'énergie) à la classe F (appareils les plus gourmands). Ces différences de consommation sont loin d'être négligeables : la consommation électrique d'un appareil électroménager peut varier du simple au quintuple.

À la différence des écolabels, le succès commercial est au rendez-vous. La



© Patrick Allard/REA

Label européen d'économie d'énergie.

figure 2 montre, par exemple, l'évolution des parts de marché des différentes classes énergétiques de réfrigérateurs, de 1999 à 2006. Alors que la part de marché de la classe A était de 7 % en 1999, elle pèse 62 % en 2006. À l'opposé, les classes C et inférieures qui représentaient 58 % des ventes en 1999 n'existent plus depuis 2005.

J'ai déjà avancé une première raison expliquant le contraste avec les écolabels : un appareil électrique qui consomme moins, ce sont des bénéfices environnementaux, mais c'est surtout une facture d'électricité allégée, pour le consommateur. À titre d'illustration, les économies réalisées sur le long terme par l'achat d'une ampoule électrique basse consommation sont de l'ordre de 30 euros sur 3 ans, par rapport à une ampoule à incandescence (Hardouin, 2008). (3)

Mais, de mon point de vue, il existe une seconde raison plus subtile, mais peut-être tout aussi importante : la logique concurrentielle qui préexiste sur le marché des appareils électroménagers. Celle-ci est fondée sur la différenciation des produits. Chaque producteur tente de concevoir des produits qui diffèrent de ceux de ses concurrents. Cela présente deux avantages : être au plus

près des préférences de chaque consommateur, mais surtout diminuer l'intensité de la concurrence entre producteurs. En effet, les produits occupant des « niches » différentes sont ainsi moins frontalement en concurrence, ce qui permet d'augmenter plus facilement leur prix, et donc la marge des producteurs. Dans le domaine des appareils électroménagers, cette différenciation prend surtout la forme de modèles haut-de-gamme (avec des marques emblématiques, comme Miele), et de modèles bas-de-gamme.

Dans ce contexte concurrentiel, l'étiquette-énergie est très utile aux producteurs. Elle signale le haut-de-gamme – puisque

ce sont généralement les modèles les moins gourmands en énergie – et elle facilite le transfert des consommateurs vers les segments de marché les plus rémunérateurs. Logique concurrentielle et protection de l'environnement vont ainsi dans le même sens. Tel n'est pas le cas pour les emballages, que j'examinerai maintenant.

LES EMBALLAGES MÉNAGERS

Tout consommateur circulant entre les linéaires d'un supermarché constate que l'emballage est un outil majeur de la différenciation des produits, en particulier alimentaires. En jouant sur la taille des contenants, on peut, par exemple, transformer un même fromage blanc en différents produits, dont le prix va

(3) Signalons que les consommateurs ne valorisent pas très fortement ces gains, puisque la part de marché des lampes fluorescentes compactes (LFC) n'est que de 20 %.

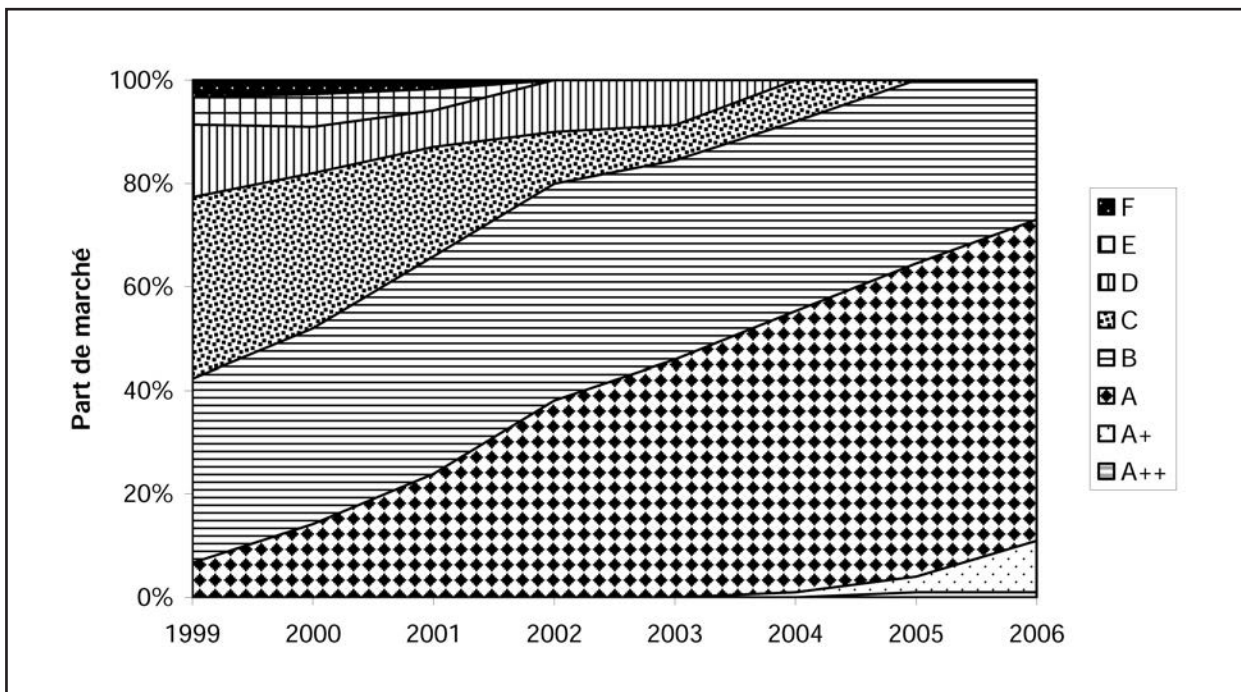


Figure 2 : Evolution des parts de marché des différentes classes énergétiques pour les réfrigérateurs, de 1999 à 2006 (Source : ADEME).

varier du simple au double. Comme pour l'électroménager, il existe des produits haut-de-gamme (à plus forte marge bénéficiaire) et des produits bas-de-gamme. Mais la grande différence est que le produit le plus vert – en l'occurrence, le moins emballé – correspond cette fois-ci au bas-de-gamme : logique concurrentielle et protection de l'environnement sont maintenant antagonistes.

Pourtant, au moins pour certains emballages, les choses semblent évoluer favorablement. La figure 3 montre ainsi que le poids unitaire des canettes ou des bouteilles en plastique a nettement diminué depuis 15 ans. Il ne faut pas y voir l'effet de la concurrence ou l'impact des préférences environnementales des consommateurs. A la différence de l'électroménager efficace énergétiquement ou des produits bio, l'emballage «vert» est sim-

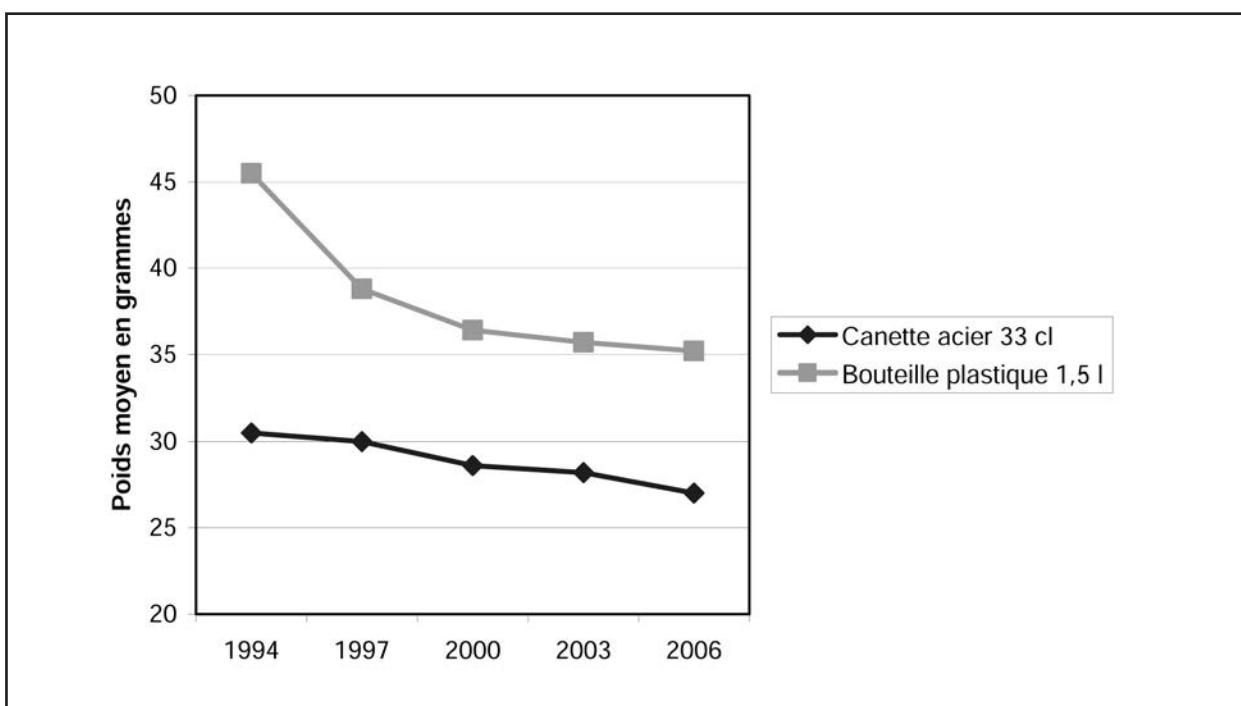


Figure 3 : Evolution du poids moyen de la canette en acier de 33 cl et de la bouteille plastique de 1,5 l (Source : Éco-Emballages et Ademe, 2008).

plement moins coûteux à produire, car il utilise moins de matériau.

En matière d'éco-conception des emballages, il est difficile de ne pas évoquer le rôle joué par le dispositif Eco-Emballages. Eco-Emballages est un organisme contrôlé par les conditionneurs – les industriels de la grande consommation, qui utilisent des emballages pour conditionner leurs produits –, qui a été chargé par les pouvoirs publics de financer le développement du recyclage et de la collecte sélective.

Ce dispositif est une mise en application du principe de Responsabilité Elargie du Producteur (REP). La REP, initialement promue par l'OCDE, désigne des politiques qui transfèrent la res-

ponsabilité en matière de gestion des déchets, des municipalités vers les producteurs. Elle repose sur une logique d'internalisation des coûts : des producteurs responsabilisés seront amenés à prendre en compte les coûts de la post-consommation dès la conception de leurs produits.

Le dispositif Eco-Emballages fournit potentiellement ces incitations à l'éco-conception au travers du barème amont qui finance les activités d'Eco-Emballages (400 M€ par an, environ). Chaque conditionneur verse une contribution, qui prend en compte le nombre d'emballages que l'entreprise met sur le marché, leur poids et la nature du matériau d'emballage. Plus précisément, la contribution, pour un emballage donné, est la somme de deux éléments :

- une contribution proportionnelle au poids du matériau d'emballage (voir le tableau 2) ;
- une contribution forfaitaire, d'un montant de 0,11 centime d'euro, par emballage.

Potentiellement, ce barème crée bien des incitations à réduire le nombre d'emballages (pour éviter de payer 0,11 centimes par emballage), à diminuer leur poids et



Ampoule basse consommation, ou ampoule à incandescence, classique ?

© PHOTOTHEL-ANDIA

à opérer des substitutions de matériaux, au profit des matériaux les moins coûteux. Mais, dans la pratique, les taux du barème restent trop faibles. En effet, la contribution tourne autour d'un demi-centime d'euro par emballage, pour la plupart des produits (Glachant 2006). Mais rien n'empêche d'augmenter le barème. De ce point de vue, le fait que les conditionneurs ne financent que la moitié des coûts de gestion des déchets d'emballages laisse au régulateur une marge de manœuvre importante, pour ce faire. D'un point de vue plus général, la REP me semble être un outil intéressant : elle permet à la puissance publique de susciter des efforts d'éco-conception, tout en en

laissant l'initiative aux entreprises. Mais il faut, pour cela, que les éco-organismes soient financés par des instruments récompensant les efforts individuels des entreprises, à l'instar du barème Eco-Emballages. Tel n'est pas toujours le cas. Prenons l'exemple des pneus usagés, qui font l'objet d'un programme de REP : les producteurs de pneus paient à l'éco-organisme ALIA-PUR une contribution, fixe par catégorie de produits, qui varie de 2 € pour les pneus de véhicules de tourisme à 26,95 € pour ceux des avions commerciaux. Ce système ne crée aucune incitation à la prévention des

Verre	0,36 c€ / kg
Papier-carton	12,21 c€ / kg
Acier	2,26 c€ / kg
Aluminium	4,53 c€ / kg
Plastique	17,78 c€ / kg

Tableau 2 : Barème amont de calcul de la contribution au poids d'Eco-Emballages en centimes d'€ (applicable depuis le 1^{er} janvier 2005).

déchets puisque, quelle que soit l'ampleur de ses efforts, un producteur paie la même somme, par pneu, que ses concurrents. L'édition par la puissance publique d'un principe de REP ne suffit pas. Cette responsabilité doit s'accompagner d'objectifs et d'exigences en matière de prévention et d'éco-conception.

CONCLUSION

Que retenir de ces trois études de cas ? Elles me conduisent, tout d'abord, à douter du potentiel de l'éco-consommation en France. Comme le montre l'exemple des écolabels, le consentement à payer pour l'environnement me semble limité et la puissance publique ne saurait compter dessus pour susciter spontanément de l'éco-conception.

En revanche, le consommateur semble prêt à payer, dès lors que la qualité environnementale est associée à des bénéfices économiques en termes d'économie d'énergie. C'est sans doute également vrai quand l'éco-produit génère des bénéfices individuels, en termes de santé, comme pour les produits issus de l'agriculture biologique. Dans ces domaines, l'information et le signalement de la qualité environnementale d'un produit par les pouvoirs publics me semblent susceptibles d'avoir un impact significatif.

Outre le consentement à payer des consommateurs, le second facteur à prendre en compte est la logique concurrentielle qui prévaut sur les marchés des produits. Ceux-ci sont généralement caractérisés par une forte différenciation des produits, notamment verticale (bas-de-gamme *versus* haut-de-gamme). Ce processus concurrentiel peut être favorable à l'environnement quand le produit haut-de-gamme est le produit vert, puisque les producteurs ont intérêt à faire migrer les consommateurs vers un haut-de-gamme plus rémunérateur. C'est, par exemple, le cas de l'électroménager.

Mais dans de nombreux cas – par exemple, les emballages ménagers, mais aussi les véhicules automobiles – le produit vert est le produit bas-de-gamme. Dans ces marchés, l'action publique doit être plus vigoureuse.

Enfin, l'exemple des emballages ménagers suggère que le principe de Responsabilité Elargie du Producteur (REP) peut constituer un instrument intéressant permettant de créer des incitations à l'éco-conception. Pour cela, cependant, des instruments de financement des éco-organismes, qui récompensent les efforts individuels d'éco-conception, sont nécessaires.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier, pour leur aide, Jérôme Adnot (de Mines ParisTech) et Isabelle Sannié (de l'ADEME).

BIBLIOGRAPHIE

Bjørner (T.B.) & (L.G.) Hansen, and (C. S.) Russell, « *Environmental labelling and consumers' choice – an empirical analysis of the effect of the Nordic Swan* », *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 47, Issue 3, pages 411-434, 2004.

EcoEmballages et Ademe 2008, Le gisement des emballages ménagers : Evolution 1993 – 2006, téléchargeable sur www2.ademe.fr

Glachant (Matthieu), La prévention des déchets d'emballages en France. Etude réalisée pour l'UFC – Que Choisir ? 2006. Téléchargeable sur www.cerna.ensmp.fr.

Hardouin (Jonathan), Le bonus-malus produits : Evaluation d'une taxe écologique, travail d'option « Machines et Energie », Mines ParisTech stage à l'Ademe, 2008. (confidentiel 1 an).

Le management du développement durable chez Lafarge

Leader mondial des matériaux de construction, Lafarge est la seule entreprise de ce secteur à être répertoriée dans la liste 2008 des 100 multinationales les plus engagées en matière de développement durable. Depuis de nombreuses années, Lafarge s'efforce de concilier efficacité industrielle, création de valeur, respect des hommes et des cultures, protection de l'environnement, et économie des ressources naturelles et de l'énergie.

par **Olivier LUNEAU***

INTRODUCTION

Lafarge appréhende le développement durable comme un enjeu économique de long terme : il ne peut y avoir de performance économique durable sans progrès social et sans protection de l'environnement. C'est un gage de la pérennité de l'activité de Lafarge. Le développement durable représente donc pour Lafarge un engagement réel, dont l'objectif est la création de valeur dans la durée. Cette performance, qui s'inscrit sur le long terme, englobe : rentabilité économique, écoute des parties concernées par l'ensemble des activités du Groupe, contribution au bien-être de la société et qualité environnementale. Lafarge considère que cette recherche de performance globale constitue un avantage compétitif.

En effet, l'industrie des matériaux de construction est fortement consommatrice de capitaux et elle inscrit ses activités sur la longue durée. La construction d'une cimenterie, par exemple, représente un investissement minimum de 150 millions d'euros, et la durée de son exploitation se compte en dizaines d'années. Il est donc nécessaire d'avoir un ancrage fort dans la communauté locale.

Cette ambition globale et cet engagement dans la durée ne sont pas des nouveautés, pour Lafarge. Ils s'inscrivent dans les pratiques du Groupe, qui, en tant que leader des matériaux de construction dans le monde, se doit aussi de montrer la voie et d'innover. La pratique du développement durable et ses valeurs humanistes étaient déjà ancrées dans la réalité du Groupe, créé en 1833, bien avant la création du concept même de développement durable. A titre d'exemple, Lafarge s'est occupé, déjà en 1930, de la réhabilitation environnementale d'une ancienne carrière, à Draveil, en France, à présent site protégé. Aujourd'hui, la construction durable, la réduction des émissions de CO₂, la lutte contre le Sida... figurent parmi les thèmes novateurs sur lesquels le Groupe et ses collaborateurs sont fortement engagés au quotidien.

Les enjeux du développement durable sont nombreux, pour Lafarge, et ils sont spécifiques à son secteur d'activité. Lafarge privilégie une approche multi-locale et multi-partenariale, qui se concrétise par de nombreuses actions et de multiples partenariats.

* Directeur développement durable et affaires publiques.

LES ENJEUX DU DÉVELOPPEMENT DURABLE POUR LAFARGE

Les spécificités du secteur

L'empreinte écologique du processus industriel

Il est indéniable que l'industrie des matériaux de construction laisse une empreinte sur les paysages et la biodiversité. En effet, cette industrie repose sur la transformation en matériaux de construction de matières premières telles que le calcaire ou le gypse. Le ciment, par exemple, provient de l'extraction de calcaire et d'argile, qui sont ensuite calcinés à très haute température dans le four de la cimenterie. A cette étape se produit la décarbonatation, c'est-à-dire la transformation chimique de la matière première : celle-ci, du carbonate de calcium CaCO_3 (le calcaire), produit de l'oxyde de calcium CaO (la chaux), avec un dégagement de CO_2 (gaz carbonique).

Cette activité implique donc, à la fois, l'exploitation de carrières pendant plusieurs décennies, mais aussi l'émission de gaz à effet de serre (le CO_2) : 60 % des émissions de CO_2 sont d'ailleurs dus à la transformation de la matière première à haute température, tandis que les 40 % restants résultent de la combustion pour le chauffage du four. C'est la raison pour laquelle l'industrie cimentière est à l'origine de 5 % des émissions mondiales de CO_2 (1).

Les pouvoirs publics se sont emparés de ces problématiques. Depuis 2005, l'ensemble des cimentiers européens sont soumis à une directive de l'Union européenne stipulant que les Etats membres doivent établir un Plan national d'allocation des quotas d'émission de CO_2 . Ainsi, en France, chaque cimenterie se voit allouer des quotas d'émissions de CO_2 à ne pas dépasser. Par ailleurs, les législations nationales imposent des contraintes fortes, quant à l'exploitation et à la réhabilitation des carrières. Néanmoins, Lafarge a pris des engagements qui vont au-delà des prescriptions du protocole de Kyoto, et cela, bien avant la mise en place de la Directive européenne, puisque Lafarge, aux côtés de WWF International, s'est engagé à réduire à l'horizon 2010 de 20 % ses émissions nettes de CO_2 par tonne de ciment produit dans le monde (par rapport à 1990), démontrant ainsi son attitude responsable de leader mondial.

La construction durable : un nouveau thème de développement durable

Contrairement aux idées reçues, le bâtiment, à lui seul, a un impact très significatif sur l'environnement. Il représente 40 % de notre consommation de ressources (énergie et matériaux), 40 % des émissions de gaz à effet de serre et 40 % de la production de déchets. Dans nos sociétés modernes, nous passons plus de 70 % de notre vie à l'intérieur de bâtiments. C'est pour toutes

ces raisons que le Groupe a choisi d'être un des acteurs de la construction durable.

Les recherches menées par Lafarge permettent de concevoir des matériaux performants, améliorant la construction, la maintenance des bâtiments et leur efficacité énergétique, à l'usage. Ainsi, le Groupe développe en permanence des produits aux performances accrues, pour une plus grande facilité de mise en œuvre et une empreinte écologique réduite, tout au long de leur cycle de vie, comme, par exemple, de nouveaux ciments et bétons permettant de réduire considérablement les nuisances des chantiers (en termes de bruit, de poussière, de pénibilité des travaux, de rapidité de réalisation, etc.). Le Groupe est aussi engagé dans la Fondation Bâtiment-Energie (2) et il travaille avec des architectes, des bureaux d'étude, des promoteurs immobiliers, des maîtres d'ouvrage, des entreprises et des artisans afin de développer de nouveaux concepts de bâtiments plus écologiques et de participer à la conception d'ouvrages énergétiquement efficaces.

Un ancrage local et une dimension mondiale

Lafarge est un groupe mondial et le béton est un matériau indispensable : avec six milliards de mètres cubes mis en œuvre, chaque année, dans le monde (soit approximativement un mètre cube par habitant), le béton est le produit manufacturé le plus consommé sur la planète !

Néanmoins, les activités du Groupe sont, par essence, locales. Acteur important de la vie locale, Lafarge a organisé sa présence industrielle de manière à être au plus près de son client final. Et cela passe, parfois, par l'implantation des sites de production au cœur même des villes. En effet, le béton prêt à l'emploi est un produit frais, qui doit être livré aux chantiers en moins de deux heures ! Un site de production intégré dans le tissu urbain facilite l'approvisionnement des professionnels. Ces implantations de proximité permettent, en outre, de limiter l'impact environnemental du transport du béton, en réduisant les distances, mais également en favorisant un transfert modal, de la route vers les voies maritimes, fluviales ou ferrées. Enfin, par cet ancrage local, Lafarge contribue au développement social et économique, génère de l'emploi et crée des richesses.

La politique du Groupe

Une nécessaire appropriation des enjeux de développement durable

Quels sont les enjeux stratégiques du développement durable, pour une entreprise comme Lafarge ? Une

(1) Ce chiffre est à considérer à la lumière de ceux d'autres secteurs : en Europe, les transports totalisent plus de 20 % des émissions de CO_2 et le secteur de l'énergie totalise 35 %.

(2) Participent également à cette Fondation l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), EDF, Arcelor et GDF.

entreprise n'est pas un organisme caritatif : l'amélioration de ses performances sociales et environnementales, inscrite dans un dialogue avec les parties prenantes, contribue à l'amélioration de ses performances économiques. Les enjeux sont énormes, et même vitaux :

- un bon dialogue local garantit une exploitation sereine, en bon voisinage, et assure le maintien des autorisations d'exploitation. Par exemple, il est impensable, aujourd'hui, en France, d'ouvrir une carrière et d'envisager son exploitation sans que les associations de riverains et les mairies concernées exigent d'aller visiter d'autres sites pour s'assurer de leur pérennité et accorder l'autorisation d'exploitation. Ce dialogue, poussé, avec les communautés locales est souvent qualifié de véritable 'bon, pour passage à l'action' ;
- l'économie des ressources énergétiques et des matières premières conduit à la réduction des coûts ;
- le respect et l'attention portés aux collaborateurs renforcent la fidélité à l'entreprise, l'efficacité au travail et facilitent le recrutement ;
- en assurant une protection médicale, dans les pays où les politiques publiques ne le font pas, l'entreprise préserve sa principale ressource : les hommes et le savoir-faire qu'ils ont acquis au cours du temps ;
- l'attachement à des valeurs, à une éthique sans faille, sont des atouts très forts, aujourd'hui, pour attirer les meilleurs talents, qui dirigeront l'entreprise, demain ;
- l'éthique prend une place croissante dans les considérations des investisseurs ;
- enfin, l'innovation pour des matériaux plus respectueux de l'environnement peut ouvrir de nouveaux marchés prometteurs.

Une approche multi-locale et multi-partenaire

En privilégiant l'approche multi-locale, c'est-à-dire le développement des relations avec les communautés proches de chacun de ses 2 000 sites de production, Lafarge applique donc son modèle productif local à sa démarche de développement durable. Son engagement est aussi envisagé de façon à impliquer plusieurs partenaires dans un même projet : tous sont parties prenantes au dialogue entretenu par le Groupe en matière de développement durable.

Misant sur la construction d'un véritable partenariat avec la société civile, Lafarge a progressivement intensifié son dialogue et sa collaboration avec les parties prenantes : les gouvernements, les associations, les ONG, principalement à l'échelle des communautés locales, ainsi, depuis quelques années, qu'à l'échelle du Groupe. Par exemple, Lafarge est engagé depuis 2003 dans le programme *Global Compact* initié par l'ONU, qui réunit, aujourd'hui, près de 2 200 entreprises à travers le monde. Toutes ces entreprises s'engagent à intégrer les dix principes du *Global Compact* dans leur pratique opérationnelle quotidienne. Ces principes s'inspirent de la Déclaration universelle des Droits de l'Homme, de la Déclaration de l'Organisation mondiale du Travail et de la Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement (3). Une fois par an, les entre-

prises concernées publient des informations sur les mesures concrètes qu'elles ont prises pour se conformer à ces principes, ainsi que sur les enseignements qu'elles ont retirés de cette expérience, créant par là-même un référentiel de « bonnes pratiques ». Si les entreprises ne respectent pas leurs engagements, elles sont exclues du *Global Compact*.

LE GROUPE ET SES PARTENARIATS : FONCTIONNEMENTS ET DEFIS

Les partenariats conclus

Trois partenariats globaux : CARE, Habitat et WWF

Ces cinq ou six dernières années, le dialogue avec les parties prenantes de Lafarge est passé, de relations informelles, à des consultations organisées et à la formalisation de partenariats. Cette approche permet au Groupe d'identifier et de comprendre les enjeux clés de la responsabilité sociale. Pour améliorer cette compréhension et confronter en permanence les orientations de l'entreprise aux attentes de la société, les relations avec les parties prenantes prennent différentes formes. De nombreux partenariats ont été conclus entre Lafarge et certaines organisations non gouvernementales (ONG) (4) ou, à l'échelon national, entre des unités du Groupe et des ONG plus locales.

Le partenariat le plus emblématique, conclu avec *WWF International*, permet de confronter en permanence la politique environnementale de Lafarge aux attentes des ONG et d'améliorer les performances du Groupe. Un premier partenariat a été conclu en 2000, pour une durée de cinq ans. Au terme de cette première échéance, le partenariat a été renouvelé, en 2005, pour trois ans. Selon cet accord, l'ONG aide le Groupe à progresser et à fixer des objectifs dans quatre secteurs environnementaux : le changement climatique, la construction durable, la biodiversité et les polluants persistants.

Dans le volet 'santé' du développement durable, un partenariat a été conclu, en 2003, entre le Groupe et Care France afin de lutter contre le VIH/Sida sur les lieux de travail. Ainsi, Lafarge prend en charge l'éduca-

(3) Protection des droits de l'homme, respect de la liberté d'association et du droit effectif des conventions collectives, élimination du travail forcé et obligatoire, abolition effective du travail des enfants et de toute discrimination dans le domaine de l'emploi et de la vie professionnelle, respect du principe de précaution en matière de protection de l'environnement, lutte contre la corruption, etc.

(4) Par exemple, pour 2004-2005, Lafarge avait conclu un partenariat avec *Transparency International France*, pour mieux comprendre l'exposition de certaines unités aux risques de corruption, compte tenu des contextes locaux et des spécificités de chaque branche du Groupe. Au terme de ce partenariat, Lafarge a décidé d'adhérer à cette ONG.

tion et la prévention de la transmission du virus, ainsi que la diffusion (gratuite et confidentielle) des traitements pour les salariés malades, ainsi que leur famille, dans ses unités d'Afrique sub-saharienne. Des salariés volontaires, appelés « pairs éducateurs », sont formés et participent à ces programmes de prévention et de lutte contre le Sida.

Enfin, en janvier 2005, a été conclu un partenariat global avec *Habitat for Humanity*, une ONG ayant vocation à construire des logements pour les plus démunis, et avec laquelle le Groupe travaillait déjà, dans divers pays, depuis 2001.

Les modalités du choix des partenariats

Ces partenariats ne sont pas dictés par des besoins d'image ; véritablement opérationnels, ils visent à challenger le Groupe, à lui apporter des compétences, à être pragmatiques et à construire un avantage compétitif.

Dans ce cadre, sont mis en place des indicateurs de performance, des objectifs et un véritable suivi, tant à l'échelle globale que locale. C'est la raison pour laquelle les partenariats ne doivent pas être figés : ils évoluent, dans le temps, en fonction des problématiques, des objectifs atteints et de l'émergence de nouveaux enjeux.

Les principaux défis

Défis au sein des partenariats et avec les communautés locales

Soucieux de son approche multi-locale et multi-partenaire, Lafarge doit d'abord pouvoir trouver un langage et un socle d'intérêts communs avec ses partenaires. Les thèmes doivent être pertinents localement, tant pour Lafarge que pour son partenaire. Les objectifs doivent être appropriés à la fois aux enjeux locaux et aux priorités fixés par le Groupe. Finalement, c'est la motivation des partenaires et leur engagement personnel, qui feront la différence. Le renouvellement des partenariats reste ainsi la meilleure preuve de leur réussite et de la possibilité de surmonter ces obstacles.

En effet, l'engagement dans le développement durable n'est pas une science exacte : si le Groupe en fait une démarche systématique et transparente, il n'en reste pas moins qu'il le fait de façon humble et pragmatique, en empruntant diverses voies. Ainsi, en 2004, le projet d'exploiter une carrière en Ecosse a été abandonné, face aux difficultés soulevées par ce projet et au rejet des communautés locales, qui n'ont pas été convaincues du bien-fondé de l'exploitation de cette carrière.

Défis en interne

Force est de constater qu'un des défis majeurs rencontré par Lafarge est de réussir à faire adhérer les unités à ses propres options. De facto, les unités opérationnelles adhèrent généralement à ce qui relève de leur propre initiative. Cependant, il n'existe pas de règle quant à la création d'un partenariat. Ainsi, le partenariat *Habitat For Humanity* est né du terrain, puis il a été généralisé et formalisé par le Groupe. *A contrario*, le partenariat avec *WWF International* a été conclu au niveau du Groupe en 2000, et il rencontre aujourd'hui un large écho, sur le terrain. Enfin, le partenariat conclu avec *Care* a permis de mettre en place une politique de lutte contre le Sida à l'échelle du Groupe, déclinée sur le terrain dans les pays concernés et ce, en fonction de la problématique locale.

L'ancrage local est l'élément clef, en matière de relations avec les associations. Ce qui a été élaboré et conclu avec le Groupe peut donc être en décalage avec la réalité spécifique d'une unité. C'est donc au Groupe de convaincre le directeur local du bien-fondé de la démarche, et à ce dernier de l'adapter localement.

CONCLUSION : BILAN ET PERSPECTIVES

Devançant largement les nouvelles réglementations aujourd'hui obligatoires dans certains pays, Lafarge considère avoir joué un rôle indéniable de précurseur dans ses engagements, dans la mise en place d'indicateurs, dans ses évaluations et ses *reportings* annuels, ainsi que dans sa communication.

La démarche consistant à s'engager dans le développement durable est une démarche systématique et de longue haleine. Elle se fait en toute humilité, car de nombreux défis doivent être relevés, et les résultats ne peuvent être appréhendés dans le court-terme. Pour une entreprise, elle implique une totale adhésion de la part de tous ses collaborateurs, et donc la mise en place d'une culture d'entreprise et d'un véritable management tourné vers le développement durable.

Mais cette démarche s'étend aussi, au-delà des frontières du Groupe, auprès des communautés locales, des parties prenantes, ainsi qu'auprès des fournisseurs, des clients et des concurrents, dans une logique vertueuse d'entraînement. Lafarge fait, en effet, profiter les autres entreprises de son expérience de leader : le développement durable consiste à sortir d'une perspective égoïste, à s'ouvrir au monde et à ses enjeux.

Un exemple d'éco-conception dans les filières agricoles, agroalimentaires et agro-industrielles : le pôle de compétitivité « AgriMip Innovation » en région Midi-Pyrénées

Les produits de l'agriculture doivent désormais répondre à la fois aux besoins des consommateurs (goût et confiance dans les produits et les processus de production) et aux aspirations des citoyens (une agriculture et une industrie responsables, respectueuses de l'environnement). L'ambition du pôle AgriMip Innovation est de concevoir une ingénierie de l'innovation adaptée à cette situation, grâce à un outil d'analyse original : les agro-chaînes.

par **Hubert de ROCHAMBEAU***, **Thierry VERONESE**** et **Patrice ROCHÉ*****

LE CONTEXTE

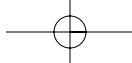
La stratégie du pôle de compétitivité AgriMip Innovation résulte d'une analyse globale, sur une échelle de temps – rétrospective et prospective – de vingt ans, du contexte de l'agriculture, de l'agro-industrie et de l'alimentation de l'homme dans un cadre mondialisé. Dans ce contexte, le pôle envisage de répondre aux exigences, parfois contradictoires entre elles, des consom-

mateurs et des citoyens. Ces exigences induisent des réglementations dans de nombreux domaines, comme la sécurité sanitaire des aliments, la gestion de l'énergie et le respect de l'environnement et du bien-être animal.

* INRA, Centre de recherches de Midi-Pyrénées.

** Directeur adjoint, Midi-Pyrénées Innovation.

*** AgriMip Innovation.



Par ailleurs, la perspective d'énergies fossiles de plus en plus chères et du réchauffement climatique va transformer profondément l'agriculture et l'agro-industrie, dans le monde, et offrir des opportunités à nos secteurs et activités.

Organisation et gouvernance

À l'occasion du 20^e anniversaire du Conseil National de l'Alimentation (CNA) en 2005, un groupe de chercheurs en sciences humaines et sociales a décrit les évolutions du système alimentaire français ; il en a déduit les conséquences sur les relations entre les divers acteurs.

La demande évolue rapidement, en particulier en faveur de produits prêts à consommer et des produits de grignotage. Les formes de restauration habituelles et plus particulièrement les formes de néo-restauration et de restauration rapide se développent. Dans le couple plaisir/santé, l'aspect santé se renforce, autour de trois axes : la sécurité sanitaire des aliments (allergies...), le rééquilibrage nutritionnel et les préoccupations relatives au vieillissement (alicaments).

La restauration collective se développe, avec une organisation plus industrielle de la production d'aliments. En parallèle, la spécialisation des acteurs industriels de la chaîne se renforce : celle-ci comporte un maillon agro-industrie, un maillon production de PAI (produits alimentaires intermédiaires) et un maillon assemblage. Enfin, le poids des distributeurs ne cesse de croître, *via* la concentration et le développement des marques de distributeurs (MDD).

Dans ce contexte, on observe que l'implication des citoyens dans la prise des décisions se renforce, avec une montée en puissance de la demande d'informations sur les produits et les systèmes de production, la revendication d'un droit de regard sur les choix technologiques et le développement de la «judiciarisation», en cas de problèmes.

Cette évolution signe un passage de filières poussées par les acteurs offreurs en amont (agriculteurs, entreprises agroalimentaires...) vers des chaînes tirées par les acteurs-acheteurs, en aval de la chaîne de valeur (enseignes de grande distribution...). Les orientations de la chaîne ne proviennent plus des agriculteurs, mais du couple grands distributeurs-consommateurs. Dans cette dynamique, les industries alimentaires encourent le risque de devenir, un jour, des sous-traitants de la grande distribution.

Des perspectives pour l'agriculture et l'agro-industrie

Parmi les scénarios proposés dans «Agriculture et Territoires – scénarios pour 2015», nous avons d'abord retenu celui de la «qualité d'origine, par la qualification

des produits et des territoires». Il repose sur l'hypothèse qu'à l'horizon 2015, un nombre significatif de consommateurs seraient prêts à dépenser un peu plus, peut-être jusqu'à 20 %, selon certaines estimations, pour une alimentation de meilleure qualité.

Cette qualité résiderait dans l'origine des produits et leurs conditions de production : le système des appellations d'origine contrôlée (AOC) serait généralisé, tout en étant élargi dans ses principes et, enfin, rendu accessible à tous les territoires, qui s'organiseraient pour créer des signes distinctifs. Ce scénario est celui d'une organisation collective des agriculteurs sur un territoire donné, grâce à un lien entre l'ensemble des agro-chaînes.

Un second scénario intéressant est celui d'une agriculture de services, dans le contexte d'un renforcement des politiques de distribution et d'équité sociale et territoriale. Les marchés seraient orientés vers des produits régionaux, valoriseraient les terroirs, les savoir-faire locaux et la proximité. En complément, davantage de produits transformés seraient exportés.

Cette agriculture de services reposerait sur une agriculture multifonctionnelle, ancrée sur le territoire, participant à la gestion des paysages, limitant l'usage des intrants et contribuant à la préservation du milieu.

Ces deux scénarios sont bien en phase avec les aspirations des acteurs régionaux. Il en ressort, en synthèse, le scénario d'un marché européen, celui des exportations sur le marché mondial et des premiers prix, celui d'une agriculture raisonnée maîtrisant les problèmes environnementaux et intégrant beaucoup d'innovations techniques.

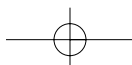
L'avenir se construira autour d'une combinaison de ces scénarios, sur un espace géographique et avec un glissement progressif, d'un scénario vers l'autre. Le rapport de la Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT) souligne le rôle moteur que jouent les acteurs économiques dans ces évolutions.

L'ambition du pôle AgriMip Innovation est d'accélérer la diffusion de l'innovation dans les Agrochaînes régionales et de favoriser la maîtrise de l'évolution de l'agriculture et de l'agro-industrie régionales.

La tertiarisation de l'agriculture et de l'agro-industrie

La tertiarisation de l'agriculture et de l'agro-industrie constitue un autre fondement pour le positionnement technologique et industriel du pôle AgriMip Innovation. Comme les autres secteurs de production de matières premières, l'agriculture est engagée dans un processus de tertiarisation, qui se traduit par des prestations de services (protection de l'environnement ou tourisme vert, par exemple) et des 'produits-services', c'est-à-dire des produits agricoles conçus comme une solution à un besoin ou à un problème.

La différenciation de la production agricole ne se réduit alors plus aux seules productions, qualifiées par des



signes de qualité, mais elle exige de nouvelles compétences pour demeurer compétitive.

Cette orientation a une conséquence importante sur la production : elle conduit à dissocier la notion de qualité et la notion de service, qui se construisent de manière différente.

La qualité est définie par un acteur, un fournisseur ou un client. Le service résulte toujours d'une collaboration entre les acteurs : il se définit comme le résultat généré par les activités intervenant à l'interface entre le fournisseur et le client.

Tel est le contexte qui favorise la tertiarisation de l'agriculture.

Les produits-services agricoles sont chargés d'informations, qui sont précieuses au moment de l'utilisation du produit. Parallèlement, les gains de productivité de l'industrie informatique sont tels que les coûts du partage de l'information chutent de manière accélérée. Les agro-chaînes doivent innover, afin de négocier ce virage des produits-services.

La gestion des crises sanitaires de l'alimentation

Malgré les dispositifs de prévention et d'information mis en place par les pouvoirs publics, malgré les découvertes scientifiques, malgré les progrès technologiques, le public perçoit une répétition d'incidents et d'accidents – phénomène accentué par l'effet de « loupe » produit par les divers relais d'informations. Ces éléments concourent à alimenter le doute et la perte de confiance des consommateurs dans les dispositifs de sécurité des aliments, conduisant ainsi à une exigence toujours plus forte de sécurité 'absolue'.

Les consommateurs hésitent à avoir une confiance totale dans le système. Si les technologies nouvelles règlent certains problèmes, elles en créent d'autres et il est difficile d'assurer totalement la fiabilité de chaînes alimentaires toujours plus longues et plus complexes.

Toutefois, les différents acteurs du système adoptent des conduites pragmatiques. Certains consommateurs privilégient les chaînes alimentaires courtes, tandis que les industriels sécurisent leur production par une maîtrise tant de l'origine des matières premières que des processus de transformation. Les productions agricoles respectueuses de l'environnement se font plus proches des ressources locales, et elles s'efforcent d'associer des citoyens à leurs orientations. Modestement, les chercheurs essayent d'informer le public, de manière compréhensible. Des lieux de débat s'organisent, ici ou là. L'écoute réciproque d'individus aux intérêts contradictoires assure une appropriation des informations à tous les niveaux, et elle offre à chacun la possibilité d'émettre des messages en direction des décideurs.

Le pôle de compétitivité devra nécessairement contribuer à ce débat pour favoriser la mise en place de régulations durables entre les divers acteurs.

L'émergence du secteur des VANAs (valorisations non alimentaires de la production agricole)

La période actuelle est marquée par une montée de l'attention portée aux valorisations non alimentaires des produits agricoles, à savoir, notamment, les biocarburants, mais aussi les produits issus de la « chimie verte » (c'est-à-dire utilisant des matières premières d'origine végétale), tels que les bioproduits (biolubrifiants, biocosmétiques, bio-détergents...) ou encore les agromatériaux.

A l'international, les enjeux sont considérables : lutte contre les pollutions atmosphériques liées aux dérivés du pétrole, développement d'un modèle énergétique et économique moins dépendant des ressources fossiles, alternatives de développement socioéconomique pour les territoires, grâce à la création de nouvelles filières agricoles et agro-industrielles permettant l'utilisation intégrale des ressources végétales et valorisant ainsi des éco-produits ou générant de fortes valeurs ajoutées (comme, par exemple, les cosmétiques). Les principaux défis rencontrés sont fiscaux et financiers, mais aussi industriels (concurrence avec l'alimentaire pour l'usage des terres, écoulement des coproduits vers l'aval...) et commerciaux.

En ce qui concerne la production de biocarburants, si elle reste encore limitée en Europe, les Etats-Unis ou le Brésil ont mené des efforts considérables dans ce domaine. Par ailleurs, le secteur chimique des pays développés cherche à se distinguer de celui des pays émergents en adoptant des stratégies de différenciation par le développement de la sécurité des *process* et des produits, mettant ainsi au premier plan la prise en compte de la préservation de l'environnement et de la santé humaine. La « chimie verte » est une des stratégies retenues pour atteindre ces objectifs et quelques grandes firmes (Dow Chemical, Cargill, Toyota...) ont d'ores et déjà déployé des stratégies offensives, basées sur des couples innovations/marchés fortement appuyés par des politiques publiques industrielles. Et que dire de l'attente des industriels de l'aval : constructeurs d'automobiles, avionneurs, fabricants de peintures, de matériaux de construction... qui affichent le recours à la matière végétale comme une de leur priorités en matière de développement durable ?

LA STRATÉGIE

Une vision commune

La vision commune de la stratégie du pôle AgriMip Innovation est celle d'une industrie attachée à certaines valeurs (développement équilibré du territoire rural, qualité de vie...), tout en étant résolument novatrice, et

en offrant au marché une diversité de produits de « caractère » qui soient des *best-sellers*, c'est-à-dire des produits fortement différenciés par leurs caractéristiques techniques (le tournesol à très haute teneur en acide oléique par exemple), d'origine (les produits AOC ou IGP-Indication Géographique Protégée) ou d'image (produits issus du végétal pour la chimie, issus de l'agriculture biologique ou durable, etc.). Mais la stratégie d'AgriMip Innovation va plus loin, en visant la diffusion et la valorisation des technologies et des services innovants qui soutiennent l'obtention des produits *best-sellers* : capteurs, technologies satellitaires, nouveaux fertilisants, etc.

L'ensemble de la démarche vise à obtenir des produits qui répondent à la fois aux besoins des consommateurs (goût et confiance dans les produits et les processus de production) et aux aspirations des citoyens (une agriculture et une industrie responsables, notamment respectueuses de l'environnement).

Le pôle AgriMip Innovation s'appuie sur trois axes prioritaires de développement : deux sont technologiques, le troisième étant de nature économique et sociétale.

Il s'agit :

- de technologies analytiques permettant la caractérisation, la sécurité, la traçabilité et la conformité à un cahier des charges ;
- de nouveaux procédés et de la maîtrise de la production et de la transformation ;
- du marché et du consommateur, cibles finales communes à l'ensemble de la démarche.

Le processus de mondialisation, dans le domaine agroalimentaire, stimule à la fois des marchés de produits standards, de consommation de masse et des marchés de produits de « caractère », à large notoriété. Sauf exception, les régions européennes sont peu compétitives, en ce qui concerne les produits standards, alors qu'elles ont des atouts majeurs en matière de produits « de caractère » et ce, tant dans le domaine alimentaire que dans le domaine non-alimentaire.

Midi-Pyrénées illustre bien la situation de ces régions qui se caractérisent par la diversité de leurs productions agricoles et de leurs industries agroalimentaires, ainsi que par la petite taille et le dynamisme de leurs acteurs économiques. L'enjeu du futur pôle consiste à s'investir prioritairement sur la compétitivité des produits « de caractère ». Une gestion innovante et volontariste des innovations dans les agro-chaînes régionales, avec leur diversité et la multiplicité des acteurs, est indispensable pour tirer le meilleur parti de la mondialisation.

L'ambition du pôle est de **concevoir une ingénierie de l'innovation** adaptée à cette situation, de la mettre en œuvre avec les acteurs de Midi-Pyrénées et de concrétiser ainsi un modèle de savoir-faire et de moyens de l'innovation, à proposer aux acteurs d'autres régions européennes.

Ce choix part du constat que la différenciation de la production alimentaire ne se réduit plus aux seules productions qualifiées par les signes de qualité (SOQ –

Standards of Quality). En effet, depuis le milieu des années 1990, la complexification des attentes des consommateurs et de la société par rapport aux produits alimentaires nécessite la mise en place de nouveaux dispositifs de production, qui soient capables d'intégrer :

- la sécurité sanitaire des aliments ;
- la protection de l'environnement ;
- le développement des services apportés par les produits alimentaires et non alimentaires ;
- la conformité des produits, à travers des technologies d'analyse innovantes.

Ainsi, l'agriculture et l'agro-industrie doivent aujourd'hui répondre simultanément aux exigences du client, du consommateur et du citoyen. Il est donc désormais capital (mais aussi, plus complexe), de qualifier une nouvelle forme de cahier des charges garantissant les services attendus, doté d'une forte lisibilité et source de valeur ajoutée.

Le premier axe, celui des « **technologies analytiques** », s'attache à la caractérisation des produits attendus, caractérisation qui nécessite des compétences analytiques accrues.

Il convient également d'inventer de nouveaux moyens de production et de transformation et de mieux piloter ceux qui existent, afin de répondre à cette demande. C'est l'enjeu du deuxième axe : celui des « **procédés de transformation et de production** ».

C'est enfin parce que les attentes et comportements des consommateurs sont de plus en plus complexes et donc, de plus en plus difficiles à saisir et à traduire, que la mise en œuvre du troisième axe, « **marchés et consommateurs** », apparaît indispensable.

Par cette approche, le pôle trouve toute sa légitimité sur l'ensemble de la « chaîne de la valeur », de l'amont à l'aval.

Un positionnement technologique et industriel : les agro-chaînes

Le positionnement technologique et industriel du pôle de compétitivité AgriMip Innovation s'inscrit dans une approche globale des attentes du consommateur et du citoyen. C'est, en effet, à travers l'identification de ces attentes que pourront se construire des réponses innovantes, à la fois dans la chaîne alimentaire et dans la chaîne non alimentaire.

Dans cette vision tirée par le besoin (« pull »), les ressources agricoles et forestières deviennent, au travers des industries (agroalimentaires et agro-industrielles non alimentaires), des produits innovants. Les entreprises de biens et de services dédiées à l'exploitation des ressources agricoles et forestières deviennent, dès lors, des leviers de développement dans l'optimisation de ces ressources.

Dans cette approche, la notion de « chaînage » entre la ressource agricole et le marché devient un facteur clé de

succès pour l'amélioration de la compétitivité des filières agroalimentaires et agro-industrielles. C'est dans cette optique que les acteurs du pôle de compétitivité ont développé un outil d'analyse : les agro-chaînes.

Le schéma des agro-chaînes n'est pas propre à Midi-Pyrénées : il s'applique aux chaînes de production que l'on trouve dans beaucoup de régions françaises et européennes. On distingue plusieurs maillons, dans cette agro-chaîne modèle : l'aménagement du territoire, la création variétale, la production et la collecte, les transformations alimentaires et non alimentaires, la traçabilité, le contrôle qualité et la sécurité et, enfin, la société, avec ses attentes et ses questionnements.

Dans cette vision, les ressources agricoles et forestières deviennent, au travers des industries de transformation (agroalimentaires et VANAs), des produits innovants dédiés à un marché. L'agrofourniture devient un levier de développement, dans l'optimisation de ces ressources agricoles et forestières.

L'ingénierie des agro-chaînes

Les trois thématiques développées (analyses, procédés, marchés & consommateurs) peuvent être mises en œuvre de manière combinée, afin de répondre de manière globale à l'amélioration de la compétitivité de certaines filières.

Au-delà des aspects technologiques (notamment, au travers des axes 'Analyses' et 'Procédés'), l'ingénierie des agro-chaînes fait appel à des compétences plus larges (économie rurale, gestion des organisations...), qui peuvent être regroupées dans les sciences humaines, économiques et organisationnelles.

L'innovation des agro-chaînes réside dans leur capacité à fédérer des compétences et des milieux scientifiques et techniques différents, dans une logique d'optimisation des filières, en prenant en compte les dimensions humaine et sociale.

En répondant aux enjeux de marché et de société, ces agro-chaînes améliorent significativement leur compétitivité. La relation du consommateur aux produits agricoles et/ou transformés prend alors un sens nouveau, qui va au-delà des cahiers des charges et des démarches marketing (type filière qualité, SOQ, produits-services...).

Au-delà de la compréhension des attentes du consommateur et du citoyen, les sciences sociales sollicitées permettent de comprendre et d'optimiser les organisations. Ce sont, en effet, des liens très complexes qui sont ainsi tissés entre les territoires, les hommes et, globalement, les systèmes de production. Les sciences des organisations, au niveau du monde agricole et rural, permettent de donner des clés de lecture importante, et d'activer un certain nombre de leviers.

Le Pôle génère des innovations tout au long de chaque axe thématique et tout au long des agro-chaînes, et il multiplie les interactions entre ces axes. Les projets

construits le long des axes stratégiques du Pôle (analyses, procédés, marchés et consommateurs) viennent alimenter les agro-chaînes. Ainsi, les programmes de R&D découlent directement de la rencontre entre des innovations technologiques et les exigences des agro-chaînes

CONCLUSION

L'ingénierie des agro-chaînes : un outil au service d'une application de l'éco-conception à l'agriculture, l'agroalimentaire et l'agro-industrie ?

La stratégie d'AgriMip Innovation a été établie au cours du premier semestre 2006. Depuis lors, plusieurs événements marquants sont venus la conforter en augmentant significativement l'ampleur des défis auxquels sont confrontés les acteurs agricoles et agroalimentaires. L'augmentation du prix des matières premières agricoles et la crise alimentaire que connaissent de nombreux pays dans le monde rappellent à nos contemporains le caractère stratégique de l'agriculture : nourrir neuf milliards d'hommes en 2050 est un défi terrible ; déjà, aujourd'hui, 800 millions de personnes souffrent de faim et de malnutrition.

Dans le même temps, l'augmentation du prix du pétrole et les exigences et défis environnementaux font qu'il est, plus que jamais, nécessaire d'innover pour nourrir davantage d'hommes avec chaque hectare, tout en s'inscrivant dans une démarche de développement durable pour l'agriculture et l'industrie. Ceci conduit à la nécessité d'adopter une approche globale, afin de surmonter le paradoxe intrinsèque d'une agriculture qui reste intensive tout en étant respectueuse de l'environnement, ainsi qu'à celle de trouver, pour l'industrie, des sources de biomasse et d'énergie qui ne soient pas en compétition avec le secteur alimentaire.

L'ingénierie des agro-chaînes est une approche conceptuelle qui permet de tendre vers un développement durable. Elle s'attache notamment à valoriser les déchets en tant que ressources, à boucler autant que possible les cycles de matières et à minimiser les émissions dissipatives liées aux usages qui dispersent les produits polluants dans l'environnement, à dématérialiser les produits et les activités économiques et à décarboner l'énergie. L'écologie industrielle s'appuie, en premier lieu, sur le métabolisme industriel, c'est-à-dire sur l'analyse des flux de matières sous-jacents à toute activité : les bilans matière-énergie. Elle recourt également aux calculs d'optimisation, aux analyses de cycle de vie, etc.

Le développement de cette nouvelle économie suppose que l'intérêt collectif prenne le pas sur l'intérêt individuel. Dans l'analyse d'AgriMip Innovation, la prise en compte de la demande du citoyen, en plus de celle du consommateur, permet de mieux servir l'intérêt collectif. Mais comment traduire ces bonnes intentions en réalités économiques ? Comment déplacer les équi-

libres du marché pour rémunérer les actions prenant en compte l'intérêt collectif ?

La stratégie d'AgriMip Innovation – ingénierie des agrochaînes – démontre la volonté d'acteurs économiques et académiques agricoles, agroalimentaires et agroindustriels d'agir ensemble pour innover. Ces innovations peuvent déboucher sur des agrochaînes plus durables ou plus « soutenables ». Pour cela, il reste beaucoup de travail à accomplir afin de construire les innovations technologiques et organisationnelles nécessaires à ces mutations.

BIBLIOGRAPHIE

Gouvernance de l'Alimentation, rapport pour le 20^e anniversaire du CNA, 2005.

La prospective de l'agriculture et de l'agro-industrie. Groupe de travail mené conjointement par la DIACT et l'INRA, 2001.

« La tertiarisation des filières agroalimentaires » – Cahiers de l'ISMEA – 2004.

Les entreprises artisanales face à l'éco-conception et au développement durable

Le concept d'éco-conception, né dans la grande entreprise, peut-il être transposé aux entreprises artisanales ? Le développement d'outils logiciels d'analyse environnementale (de type cycle de vie, bilan énergétique ou empreinte écologique) a démocratisé l'accès aux données environnementales, qui sont désormais à la portée des petites entreprises. Mais celles-ci ne font-elles pas déjà de l'éco-conception sans le savoir, ainsi que le laisse penser une étude menée dans le Nord – Pas de Calais ?

par **Sophie BOUTILLIER***, **Olivier CONTANT**** et **Claude FOURNIER*****

INTRODUCTION

Aux mots artisan, artisanat et entreprise artisanale, chacun attache un sens qui, souvent, rappelle un vécu particulier ou une sensibilité à un certain mode de vie (Boutillier, Fournier, 2006 dir). Notre propos est d'essayer d'échapper aux images d'Epinal, et donc de commencer par fixer certaines définitions. Nous retiendrons la définition suivante, issue de la loi du 5 juillet 1996 (art. 19-I) relative au développement et à la promotion du commerce et de l'artisanat : « aussi, seront considérées comme entreprises artisanales les entités inscrites au Répertoire des métiers, c'est-à-dire « les personnes physiques et les personnes morales qui n'emploient pas plus de 10 salariés et qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité professionnelle indépendante de production, de transformation, de réparation ou de prestation de services relevant de l'artisanat et figurant

sur une liste établie par décret en Conseil d'Etat » ». Ce décret, publié le 2 avril 1998 (décret 98-247), a été récemment modifié (le 17 juin 2008, décret 2008-565). Le « droit de suite » introduit par le décret 95-1287 du 14/12/1995 est resté en vigueur : il autorise les entreprises qui dépasseront le nombre de 10 salariés à rester inscrites au Répertoire des Métiers, à condition que le chef d'entreprise bénéficie de la qualité d'artisan, c'est-à-dire qu'il possède un certificat d'aptitude professionnelle (CAP) ou qu'il puisse justifier de six ans d'ins-

* Maître de conférences (HDR), Directrice du Centre de Recherche sur l'Economie en Mutation et l'Entreprise (CREME), Directrice du département économie/gestion de l'Université du Littoral Côte d'Opale et rédactrice en chef de la revue *Innovation. Cahiers d'économie de l'innovation* (EA 3604).

** Consultant, Gérant du Cabinet ID2E.

*** Ancien directeur adjoint de l'Institut Supérieur des Métiers, Chercheur associé au LabRII – Laboratoire de recherche sur l'industrie et l'innovation.

cription au répertoire des métiers (RM). (Boutillier, Fournier, 2006 dir).

Le concept de l'éco-conception est né dans la grande entreprise. Il tente de répondre aux défis que pose, depuis une vingtaine d'années, la question du développement durable, (rapport Brundtland, 1987). Depuis cette période, il a été acté que le développement devait être durable, et que, pour ce faire, il devait combiner l'efficacité économique, l'éthique sociale et la préservation de l'environnement. Ce principe s'est traduit par des contraintes réglementaires de plus en plus drastiques en matière d'environnement, qui s'imposent à toutes les entreprises, quelle qu'en soit la taille. Nous montrerons, dans une première partie, ce que les grandes entreprises entendent par éco-conception et comment elles ont intégré celle-ci à leur fonctionnement, en élaborant le concept de responsabilité sociale de l'entreprise. L'idée que nous souhaitons défendre est que les petites entreprises (en particulier, les entreprises artisanales) possèdent tous les atouts pour une telle démarche, car le cœur de métier n'est plus axé sur la production, mais sur le bon fonctionnement du service, sur la proximité et le métier, deux des caractéristiques basiques de l'entreprise artisanale. Ce qui différencie fondamentalement les petites entreprises des grandes, dans cette démarche, c'est qu'elles ont souvent un mode de fonctionnement répondant à ces principes, mais sans le savoir, parce qu'elles doivent apporter (souvent dans l'urgence) des solutions à des problèmes particuliers. C'est ce que nous enseignent la principale conclusion d'une étude que nous avons menée dans des entreprises du Nord – Pas de Calais, à propos de leur attitude vis-à-vis du concept de responsabilité sociale.

LES PETITES ENTREPRISES : QUELLES SONT-ELLES ?

Des entreprises de taille humaine

Les chiffres qui suivent sont, sauf mention contraire, issus de l'ouvrage de référence *Les chiffres-clefs de l'artisanat* (Ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie), un recueil de chiffres officiels exempt de commentaires autres que méthodologiques. Avec 873 000 entreprises enregistrées à titre principal ou secondaire, l'artisanat représente 33 % des entreprises. Environ 30 % de ces entreprises sont implantées dans les 31 286 communes rurales françaises, et le reste en milieu urbain. Les chefs d'entreprises artisanales sont, pour 20,3 % d'entre eux, des femmes dont l'âge moyen est de 44 ans, et pour 79,7 %, des hommes dont l'âge moyen est de 45 ans. Elles représentent 14 % de l'emploi des entreprises françaises (Boutillier, Fournier, 2006).

Au-delà des chiffres, il y a des hommes et l'organisation de la vie sociale. C'est ce qui ressort de l'écoute des artisans eux-mêmes. Au fil des années, on verra deux grandes tendances se dessiner, au travers des interventions de l'État : l'une, basée sur les chiffres, en quelque sorte, considérera que l'entreprise artisanale est une entreprise comme les autres, certes petite, voire très petite, mais une entreprise qui répond aux mêmes modèles que les autres ; et une autre tendance, qui considère que les choses ne sont pas si simples et que l'entreprise artisanale est d'abord l'histoire d'un homme ou/et d'une femme et que traiter de l'entreprise artisanale, c'est traiter aussi de la stabilité sociale du pays et de la société, et constitue donc un acte politique majeur. (Boutillier, Fournier, 2006dir)

Le métier et la proximité

Lorsqu'on demande à un artisan (Bayad et Coll. 2006 – Fournier 2006.) ce qu'est une entreprise artisanale, ce n'est pas la notion de nombre de salariés, ni celle d'inscription au registre des métiers, qui est mise en avant, mais celle de métier, de métier bien fait, ou encore celles de proximité avec une clientèle connue, de tradition, mais aussi de modernité, d'innovation, d'individualisme, de famille professionnelle... celle de proximité tant avec la vie sociale de la cité qu'avec ses salariés...

Ces qualificatifs, qui reviennent, le plus souvent, dans les propos des artisans, montrent bien, dans leur apparente contradiction, que les entreprises artisanales ne sont pas des entreprises totalement comme les autres, au moins dans les premières années de leur existence, pour celles qui ont envisagé leur développement par la croissance, et tout au long de leur existence, pour la part, non négligeable, des chefs d'entreprise qui ont choisi (consciemment, ou non) un autre mode de développement. La principale raison en est qu'avant d'être une organisation, ou une personne morale, l'entreprise artisanale est une personne physique et que, de ce fait, ses qualités sont celles d'un homme, ou d'une femme, avec toute l'irrationalité et l'affectivité qui y sont attachées.

La prise en considération de cette donnée permet de mieux comprendre ce secteur de l'économie. En effet, l'entreprise artisanale est plus proche des caractéristiques liées à l'humain que de celles liées à l'objet économique, avec ses composantes fiscale, juridique et sociale. Vouloir développer une politique économique en faveur de l'artisanat, c'est donc vouloir développer une politique économique favorisant l'amélioration de la qualité de vie de ses concitoyens. La notion de responsabilité sociale des très petites entreprises (RSE), que nous avons essayé de cerner avec les artisans de la région Nord-Pas de Calais, trouve alors un sens dans l'artisanat. Nous en évoquerons deux aspects : l'éco-conception et le développement durable.

LES PETITES ENTREPRISES ET L'ÉCO-CONCEPTION : « FAIRE PLUS AVEC MOINS ET FAIRE SUR PLACE, MAIS AUTREMENT » (1)

Les pratiques actuelles de l'éco-conception dans les grandes entreprises : une réponse partielle et incomplète aux défis environnementaux planétaires

La mise en place de dispositifs réglementaires visant à limiter les impacts environnementaux des produits manufacturés, notamment lors de leur fabrication, s'est accélérée depuis les catastrophes industrielles des dernières décennies du XX^e siècle. La contrainte réglementaire s'est ensuite déplacée, des sites de production vers les produits eux-mêmes (à titre d'exemples, nous citerons les directives sur les équipements électroniques, les emballages...).

Dans d'autres secteurs, où l'encadrement réglementaire est moins prégnant, ce sont les attentes des consommateurs qui ont poussé les entreprises à s'engager dans une démarche d'éco-conception, en vue d'améliorer (ou de changer) leur image et d'utiliser d'autres arguments marketing. En effet, la stratégie marketing mise en place jusqu'alors a été, trop souvent, une stratégie d'obsolescence programmée. Il s'agissait de favoriser le renouvellement rapide des produits, pour se démarquer de la concurrence et soutenir la consommation de produits de moins en moins chers pour en permettre l'accès au plus grand nombre. Cette course à la prétendue nouveauté et aux coûts de revient réduits a orienté les choix de conception : utilisation de matières premières ou de composants de moindre qualité, conception empêchant le démontage (et donc la réparation), des produits, coût des réparations supérieur à celui du renouvellement du produit...

Les nouvelles composantes du marché, à savoir une contrainte réglementaire de plus en plus forte, un coût accru et des conditions d'accès plus difficiles aux matières premières, et des attentes croissantes des citoyens, conduisent de plus en plus d'entreprises à se tourner désormais vers l'éco-conception. Cependant, celle-ci est surtout le fait, aujourd'hui, des grandes entreprises, qui engagent des démarches d'éco-conception orientées majoritairement vers la fin de vie des produits. C'est l'analyse du cycle de vie des produits qui permet d'identifier la solution la plus satisfaisante en termes de réduction d'impact et de quantifier (en général, à des fins de communication) les gains environnementaux obtenus. Cette approche reste dans le droit fil du système mis en place par la majorité des entreprises en matière d'environnement. Ce système connu sous le terme de « end of pipe » est basé sur des améliorations incrémentales apportées aux produits, sans véritablement changer la vision de leur conception, ni celle de leur usage.

Cependant, la croissance de la demande en produits manufacturés au niveau mondial compromet très fortement la durabilité du système de production actuelle et l'approche « end of pipe », qui repose sur des principes davantage curatifs que préventifs, ne résout pas le problème du découplage entre croissance économique et pression environnementale. La mise en place de technologies propres et le développement des filières de recyclage ont permis de réduire les atteintes portées aux écosystèmes naturels et à la santé humaine, mais ils n'ont pas résolu le problème de la raréfaction de certaines ressources (matières premières et énergie), qui reste un des enjeux majeurs de l'éco-conception.

Ces constats imposent de revoir le fonctionnement des systèmes industriels et de s'inspirer du fonctionnement des écosystèmes naturels. C'est le propos de l'écologie industrielle, qui appréhende les activités industrielles comme des écosystèmes, composés de flux de matières, d'énergie et d'informations. À partir des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes, elle se propose de réorganiser le système industriel de manière à ce qu'il évolue vers un mode de fonctionnement qui soit compatible avec la biosphère et qui soit soutenable à long terme.

Le développement de l'éco-conception par les petites entreprises : enjeux et conditions de développement

Une approche des notions d'écologie industrielle couplant éco-conception et innovation semble être un cadre propice pour le développement de l'éco-conception par les petites entreprises et un vecteur pertinent pour mettre en pratique les principes du développement durable dans ces petites structures, acteurs majeurs du développement économique et de l'emploi des territoires (2).

Un meilleur couplage entre éco-conception et innovation

Le développement de l'éco-conception, au niveau des petites entreprises, passe par l'établissement d'un lien plus étroit avec la dynamique d'innovation et la prise en compte de l'environnement dans le cycle de vie des produits. Le processus de conception des produits est déjà fortement contraint par d'autres facteurs (coûts, délais de mise sur le marché) et ce processus n'est pas chose facile, pour les petites entreprises qui ne dispo-

(1) Leo Dayan, enseignant chercheur de l'Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, Directeur scientifique du laboratoire, APREIS (European and International Actors, Practices and Researches to Implement Sustainability) et de l'Université mondiale nomade pour la durabilité.

(2) Les 23 millions de PME (de moins de 250 salariés) représentent 99 % des entreprises européennes. 93 % d'entre elles ont moins de 10 salariés. Les entreprises européennes de moins de 50 salariés concentrent environ 50 % de l'emploi salarié privé (« Priorité PME », étude publiée en 2007 par la DG Entreprise et Industrie de la Commission Européenne) http://ec.europa.eu/enterprise/entrepreneurship/docs/sme_pack_fr.pdf.

sent pas toujours des ressources et des compétences internes pour engager une telle démarche. Il n'est donc pas envisageable d'ajouter une contrainte supplémentaire (l'environnement) à la conception des produits. C'est en inversant le point de vue, en transformant la contrainte en opportunité d'innovation, que les petites entreprises s'approprient les principes de l'éco-conception.

Le développement de l'éco-conception ne pourra pas être dissocié de l'innovation et de la créativité, qui sont indispensables pour revoir en profondeur l'approche de la création de produits et ne pas se cantonner à des améliorations incrémentales. Renforcer les liens entre innovation et éco-

conception, c'est utiliser des outils existants dans une nouvelle pratique, comme l'analyse de la valeur ou les techniques de créativité. L'intérêt de l'analyse de la valeur tient au fait qu'elle permet d'affiner l'analyse fonctionnelle du produit et, donc :

- de concevoir un produit (ou un service) en partant exclusivement du besoin, « du juste nécessaire » ;
- de stimuler l'innovation, en évitant de reconduire simplement des solutions déjà existantes ;
- de faciliter le dialogue entre les différentes parties prenantes, internes et externes à l'entreprise, et d'intégrer, dès l'amont de la conception, les différents objectifs et contraintes à prendre en compte.

Pendant longtemps, c'est l'accès aux données environnementales relatives aux matériaux et à leurs procédés de fabrication et de mise en œuvre qui a pu limiter le développement des démarches d'éco-conception en rendant difficile les comparaisons entre plusieurs solutions (évaluation du gain environnemental obtenu). Le développement de différents outils logiciels d'analyse



© Isabelle SIMON/SIPA

Chocolat «Equitable».

environnementale (de type cycle de vie, bilan énergétique ou empreinte écologique) a démocratisé l'accès aux données environnementales, qui sont désormais à la portée des petites entreprises.

Les logiciels et les méthodes d'éco-conception proposent des voies génériques de réduction des impacts. En revanche, les méthodes de conception originales, telles que l'analyse de la valeur, sont rarement mentionnées et mises en œuvre. Compte tenu de la culture, des moyens et des compétences parfois réduites de certaines petites entreprises, seule une approche collective basée sur les principes de l'écologie industrielle permettra réellement de faire progresser les pratiques d'éco-conception dans ces petites structures.

L'écologie industrielle : un cadre « naturel » et un pré-requis au développement durable dans les petites entreprises

Pour mettre en œuvre cette démarche, les petites entreprises peuvent s'inspirer des principes de l'écologie industrielle, qui consistent à mutualiser des ressources (matériaux, énergie...), des informations et des moyens. Une démarche collective, au niveau d'une filière professionnelle, d'une zone d'activité ou d'un cluster permet à des entreprises, proches géographiquement ou non, de coopérer entre elles pour optimiser l'utilisation des ressources (valorisation mutuelle des déchets ou regroupement de déchets permettant d'avoir des gisements suffisants pour accéder aux filières de recyclage mises en place). Cela permet aux entreprises d'accéder collectivement à des filières de recyclage auxquelles elles ne pourraient avoir accès individuellement.

Cela est rendu nécessaire, d'une part, parce que l'approche « end of pipe », qui prévaut au niveau des

grandes entreprises, n'est pas toujours transposable au niveau des plus petites : les technologies propres sont souvent dimensionnées pour des procédés de taille industrielle et, de ce fait, elles sont parfois difficilement applicables, des points de vue technique et économique, pour des entreprises de petite taille. D'autre part, cette approche induit des coûts de traitement de plus en plus importants, au fur et à mesure que les normes et les règlements se durcissent.

En ce qui concerne le recyclage des déchets, les filières actuellement mises en place privilégient, essentiellement pour des questions de rentabilité à court terme, certains types de flux dont le gisement est aujourd'hui suffisant pour rendre la filière de production de matières premières recyclées compétitive vis-à-vis des coûts de production des matières premières vierges. De ce fait, seule une fraction des déchets produits par les petites entreprises trouvent une place dans les filières de recyclage.

La mutualisation des informations, des moyens et des compétences sont également des pré-requis à la mise en place de la démarche dans des petites entreprises :

- Mutualisation d'informations entre entreprises : accès aux données environnementales sur les matériaux, veille sur les évolutions réglementaires, technologiques (nouveaux matériaux ou procédés de fabrication...);
- Mutualisation de moyens : achats groupés auprès de fournisseurs, permettant d'avoir un volume de commandes critique autorisant à travailler sur des produits/matériaux sur mesure, ce qui peut être difficile, pour une petite entreprise seule ;
- Mutualisation de compétences : utilisation à temps partagé, à titre collectif, d'un animateur éco-conception pour une filière en particulier, ou pour un territoire donné : appui méthodologique à la démarche, maîtrise des outils d'éco-conception et de quantification des impacts environnementaux, recherche d'informations mutualisée auprès des fournisseurs et des centres de ressources en-éco conception.

Les principes de l'écologie industrielle reposent également sur le concept de « valeur d'utilisation », qui se base sur la vente de l'usage des biens et non sur celle des biens eux-mêmes et repose sur deux stratégies :

- La durabilité, basée sur la prévention (concevoir les produits dès le départ de façon à ce qu'ils durent longtemps et soient, si possible, modulaires, ce qui permet le remplacement des pièces défectueuses uniquement), sur l'entretien (prolonger la durée d'usage du bien : réparation, mise à jour...), sur l'utilisation en « cascade » (réutilisation de biens usagés pour des fonctions moins exigeantes) et les services de « revente » (marché de l'occasion) ;
- L'utilisation intensive des biens, qui consiste à réduire le volume des flux de ressources par la dématérialisation de l'usage des biens (utilisation d'une voiture par plusieurs conducteurs (« car sharing »), usage à temps partagé de bureaux...). Cette intensification consiste aussi à créer des produits multifonctions (ex : fax-imprimante-scanner) et à axer l'argumentation de vente

non plus sur les produits en eux-mêmes, mais sur leur service « utilisation » en améliorant la garantie, la qualité et la conception.

Dans un tel système, le cœur de métier de l'entreprise est axé non plus sur la production (coût de main-d'œuvre, matière première), mais sur le bon fonctionnement du service (qualité, fiabilité sur la totalité du cycle de vie). La ressource critique devient, dès lors, le savoir-faire, l'expérience et la proximité. Les petites entreprises possèdent des atouts, pour entreprendre cette démarche :

- leurs liens avec les territoires et leur proximité avec d'autres entreprises, leurs fournisseurs et leurs clients ;
- leur flexibilité, leur réactivité et leur culture du « sur mesure », qui leur permettent d'adapter leurs produits aux besoins de leurs clients et de travailler, avec eux, sur la notion d'usage.

Cette approche permet aux petites entreprises de mettre en œuvre de manière concrète les principes du développement durable. Sur le plan économique, la démarche d'éco-conception peut permettre à l'entreprise d'améliorer sa compétitivité à court terme (maîtrise ou réduction des coûts de production liés à la consommation de matières premières, d'énergie et au traitement des déchets) et de favoriser sa performance à long terme en proposant de nouveaux produits, repensés en termes de services et de fonctions d'utilisation. Cela permet non seulement de répondre aux attentes grandissantes des clients vis-à-vis de la performance environnementale des produits, mais également d'anticiper les évolutions réglementaires (ou les incitations) en matière d'étiquetage environnemental des produits.

La mise en place de la démarche d'éco-conception ou d'éco-innovation permet au dirigeant de l'entreprise d'impliquer ses collaborateurs et de les faire participer au fonctionnement de l'entreprise et, ce, non plus seulement pour des tâches d'exécution. Cette approche permet de répondre aux aspirations des salariés les plus jeunes, et elle rend ainsi l'entreprise plus attractive, dans un environnement où le recrutement va devenir de plus en plus concurrentiel, compte tenu de l'évolution de la pyramide des âges et du départ à la retraite de nombreux salariés.

Cette approche va permettre également à l'entreprise de développer ses relations avec les acteurs des territoires : l'utilisation de ressources et de matières premières locales, l'implication et la participation des salariés au fonctionnement de l'entreprise et, ce, un meilleur dialogue avec les fournisseurs, le développement de partenariats avec d'autres entreprises du même territoire pour la valorisation des matières premières et de l'énergie, ainsi que la collaboration avec des centres de compétences et de formation dudit territoire...

L'optimisation des ressources naturelles impose de repenser la manière dont sont mises en œuvre les connaissances, quelles qu'elles soient. C'est à cette condition que le progrès et les avancées technologiques pourront maintenir la promesse de faire progresser l'en-

semble de la société de manière durable en permettant une relocalisation de l'économie au niveau des territoires et un développement de l'emploi local induit par l'augmentation des activités de réparation et de maintenance nécessitant une qualification forte des emplois (utilisation d'équipements de pointe) et une décentralisation à proximité du lieu où les produits sont consommés. Cela suppose aussi que les entreprises se sentent socialement responsables.

LA RESPONSABILITÉ SOCIALE DES ENTREPRISES ARTISANALES : ÊTRE SOCIALEMENT RESPONSABLE, SANS LE SAVOIR ?

Comme nous l'avons mentionné plus haut, le développement durable et sa «composante» éco-conception se retrouvent, au niveau de l'entreprise, dans la notion de responsabilité sociale. L'entreprise artisanale, qui est, par essence, génératrice de lien social, devrait donc être emblématique en cette matière. Qu'en est-il, concrètement, sur le terrain ? C'était l'objet d'une étude menée sur la région Nord – Pas de Calais, dans le cadre du «Club des dirigeants» (3). Celle-ci a montré que, bien souvent, les artisans font de la RSE sans le savoir et que c'est avant tout la responsabilité sociale de l'artisan qui fait celle de l'entreprise.

Lorsqu'on essaie de cerner la notion RSE chez les artisans (Boutillier, Fournier, 2008), on se rend compte qu'en ce qui concerne :

- l'engagement auprès des salariés, les artisans sont de plus en plus « frileux », de crainte de se mettre dans une situation juridique défavorable, et que leur engagement se limite de plus en plus à la simple application du code du travail. Par exemple, certains se sont retrouvés, malgré eux, en faute vis-à-vis du droit du travail, simplement pour avoir voulu rendre service à un de leurs salariés confronté à une situation exceptionnelle ;
- l'engagement en faveur de l'emploi et de l'apprentissage est toujours très fort, dans l'artisanat. Pour des raisons historiques, les artisans se sont depuis longtemps appropriés ces domaines. La question est très importante, car elle touche à ce qui est au cœur de la définition de l'artisanat : le métier et la transmission de connaissances ;
- l'engagement en faveur de l'environnement, les artisans sont sensibilisés notamment sur les points réglementaires spécifiques à leur profession et sur ce qui peut leur permettre de réaliser des économies (énergie). En matière d'environnement, nous pouvons également mettre l'accent sur l'origine des matières premières utilisées dans le cadre de la production. C'est particulièrement avéré dans les métiers de bouche, dans lesquels l'artisan est amené, pour se distinguer de la production industrielle à grande échelle, à avoir une production de qualité : on y connaît directement l'origine des matières premières utilisées. C'est aussi une

marque de confiance de la clientèle vis-à-vis de l'entreprise. Cette remarque nous conduit, une fois encore, à mettre l'accent sur la proximité géographique, les artisans étant jusqu'alors davantage focalisés sur les circuits professionnels ;

- les sources d'information : les artisans connaissent essentiellement les circuits professionnels ;
- les préoccupations environnementales : elles ne sont pas forcément les valeurs affichées d'emblée par l'entreprise artisanale. Mais, confrontés à l'augmentation du prix de l'énergie et des matières premières d'une manière générale, les chefs d'entreprises artisanales cherchent également à réduire leur consommation en la matière. Aussi, même si la motivation est non pas écologique, mais économique, le résultat obtenu est le même.

L'ARTISANAT : UN LEVIER PRIVILÉGIÉ DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

Ces premières remarques pourraient sembler pessimistes, mais les artisans sont convaincus que ces questions seront de plus en plus importantes et qu'elles représentent un enjeu économique indéniable. Ce trop court résumé de ce travail montre que le secteur de l'artisanat est un champ d'investigation porteur, en matière de développement durable et que cette question, dès lors qu'elle serait bien comprise par les responsables professionnels et les élus nationaux, pourrait être un levier important de redynamisation de l'économie locale et des territoires

La dispersion géographique des entreprises artisanales sur le territoire, liée au fait que, souvent, derrière une entreprise artisanale, il y a une famille en prise directe sur les préoccupations de l'entreprise, inciterait à avoir une véritable politique économique en faveur de ce secteur et non pas simplement des «trains de mesures» plus ou moins opportunistes. La mobilisation des chambres consulaires de métiers, ainsi que de celles du commerce et de l'agriculture, devrait être un moyen permettant de la mettre en œuvre. Par le passé, dans les années 1970 (David, 1998), l'Etat a su initier des programmes de développement économique (assistance technique...), qui ont été à la base de la modernisation de ce secteur et de son adaptation à l'évolution technologique.

(3) «Le club des dirigeants» est un groupe de coproduction, constitué de chercheurs et d'artisans. Il est soutenu par La Chambre régionale de métiers et d'artisanat du Nord – Pas de Calais, l'Union Professionnelle Artisanale Régionale et l'Institut Supérieur des Métiers. Une communauté de pratique singulière : le club des dirigeants du réseau artisanat-université – Sophie Boutillier – Claude Fournier, in Pédagogie en ligne, méthodes et outils Michel Arnaud (dir)-2007- Ed.Educaweb.

CONCLUSION

L'entreprise artisanale, en dépit de ses spécificités (métier, proximité, etc.), se trouve être insérée dans la même société que la grande entreprise et elle est soumise, de ce fait, à des degrés certes divers, aux mêmes lois économiques et juridiques que celles-ci. La problématique du développement, qui s'est imposée depuis ces vingt dernières années, a largement contribué à refaçonner la stratégie des entreprises, en particulier celle des grandes, qui se sont autoproclamées « socialement responsables ». Elles ont été amenées, dans leurs modalités de fonctionnement, à revoir la conception de leurs produits, de manière à ce que leur production soit plus économe en énergie et en matières premières, mais aussi pour répondre aux préoccupations d'une clientèle de plus en plus soucieuse des questions environnementales.

Les entreprises artisanales, souvent présentées comme une sorte de survivance d'un passé révolu, constituent au contraire un élément de progrès en la matière. L'étude menée dans le Nord / Pas de Calais tend à montrer que les entreprises artisanales font de la RSE sans le savoir. Cette formule lapidaire constitue, à nos yeux, un

élément d'alerte de nature à orienter la politique publique en ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

- Bayad (M.), Delobel (B.) & Schmitt (Ch.), Club des dirigeants de Lorraine – Institut Supérieur des Métiers – 2006.
- Boutillier (S.) & Fournier (C.), Artisanat : la modernité réinventée, *Marché et organisations*, L'Harmattan, dir, 2006.
- Boutillier (S.) & Fournier (C.), Connaissance, finance, lien social : artisanat et innovation, *Humanisme et entreprise*, N° 280, décembre 2006.
- Boutillier (S.) & Fournier (C.), La responsabilité sociale dans les entreprises artisanales, Forum L'esprit de l'innovation, Laboratoire de recherche sur l'Industrie et l'Innovation / Université du Littoral Côte d'Opale, 27 mars 2008.
- David (M.), *Brève histoire de l'artisanat*, Cahiers de l'Institut Supérieur des Métiers, 1998.
- Fournier (C.), L'universitaire et l'artisan [en ligne] in cahier du LabRII – Université du Littoral Côte d'Opale – document de travail janvier 2006.
http://rii.univ-littoral.fr/doc_travail/pdf/doc117.pdf.

L'éco-conception : une valeur ajoutée pour les entreprises et un enjeu futur de compétitivité ?

DES ENTREPRISES
AUX CONSOMMATEURS

Les retours d'expérience le montrent : prendre conscience des impacts d'un produit sur l'environnement, c'est trouver les moyens de les réduire. Ce nouveau regard sur le produit ouvre de nouvelles voies d'améliorations techniques ou d'innovation. C'est un moteur supplémentaire de créativité qui permet d'augmenter la valeur ajoutée environnementale du produit, de se différencier de la concurrence, voire de répondre à de nouvelles attentes du marché.

par **Myriam PUAUT***

DE LA CONSOMMATION DURABLE À L'ÉCO-CONCEPTION

Tous les produits ont des impacts négatifs sur l'environnement. Du fait de la multiplication des produits consommés, les impacts générés sont croissants. Tout au long de leur cycle de vie (extraction de matières premières, production, distribution, utilisation, élimination), les produits génèrent plus de 50 % de l'effet de serre national [1]. De même, ils sont à l'origine de l'essentiel de la production des déchets et de plus de 72 % des flux à l'origine de l'eutrophisation (pollution de l'eau) [2]. Partant de ce constat, l'Ademe cherche à promouvoir la diffusion de produits à impacts moindres, notamment par la promotion de l'éco-conception. Il s'agit d'imaginer cet « âge des choses légères » [3] qui saura concilier la croissance économique, le respect de l'environnement et le bien-être de tous les êtres humains. Après l'ère industrielle, cette nouvelle ère plus

« légère » doit permettre de répondre aux besoins de nos sociétés, tout en minimisant les consommations de ressources (matières premières et énergie) et les pollutions générées. L'accélération des enjeux environnementaux nécessite que tous les acteurs du cycle de vie des produits se mobilisent : les metteurs sur le marché (entreprises, distributeurs...), certes, mais également les consommateurs, les acheteurs publics et privés, les acteurs de la fin de vie, les administrations et collectivités, les politiques...

Le développement d'une offre de produits plus respectueux de l'environnement passe par la diffusion des démarches d'éco-conception au sein des entreprises. Le déploiement de l'éco-conception est une piste pour aller vers une nouvelle économie industrielle plus respectueuse de l'environnement. Cette piste est intéressante, mais elle ne sera probablement pas suffisante...

* Ademe, Direction Clients – Département éco-conception et consommation durable.

Les solutions existent, il faut les imaginer et provoquer les changements qui permettront de les adopter : l'éco-conception y contribuera, tout comme l'éco-consommation, les achats éco-responsables, l'économie de fonctionnalité, l'écologie industrielle...

Nous allons examiner les principes de l'éco-conception et étudier en quoi cette démarche peut apporter sa contribution à une nouvelle économie plus respectueuse de l'environnement.

UN QUESTIONNEMENT, À L'ORIGINE DE L'ÉCO-CONCEPTION : QUELS SONT LES IMPACTS DE MON PRODUIT SUR L'ENVIRONNEMENT ?

La norme ISO 14062, parue en janvier 2003 [4], définit ainsi l'éco-conception : il s'agit « d'intégrer des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit ». L'objectif est de réduire les impacts négatifs du produit sur l'environnement, tout au long de son cycle de vie.

Il s'agit donc, pour l'entreprise qui souhaite s'engager dans cette démarche :

- de savoir mesurer les impacts de ses produits :
 - à chacune des étapes de leur cycle de vie,
 - sur les différents milieux de l'environnement : consommation (d'énergie, de ressources), pollution (de l'air, de l'eau, des sols)... ;
- d'agir, afin d'améliorer ces impacts, en évitant ou en arbitrants les transferts de pollution.

L'utilité de la mesure des impacts environnementaux d'un produit pour identifier des pistes permettant de les réduire va être illustrée ici par deux exemples : celui du jean [5] et celui du téléphone portable [6]. Ces deux analyses de cycle de vie (ACV), conformes aux normes ISO 14040 et ISO 14044, permettent d'obtenir des résultats chiffrés. On peut formuler ces résultats par comparaison avec les impacts d'autres produits de consommation courante ou sous forme d'indicateurs d'émission de substances. Ils deviennent alors plus compréhensibles pour les non initiés.

L'analyse de cycle de vie du jean a montré que l'essentiel de la consommation d'eau (82 %) était lié à la production du coton, mais que, pour nombre d'autres indicateurs d'impacts potentiels sur l'environnement (tels le changement climatique, l'acidification de l'air ou l'eutrophisation des eaux), deux grandes étapes significatives de la « vie » du jean étaient responsables d'environ la moitié des impacts sur l'environnement :

- la phase amont, antérieure à l'achat : de la culture du coton jusqu'à sa distribution, en passant par les étapes de fabrication du pantalon ;
- la phase aval succédant à l'achat : achat, nettoyage, repassage et fin de vie du pantalon.

Ce constat démontre que le consommateur a un rôle aussi important que celui du producteur, dans la réduction de l'impact environnemental d'un jean. Quelles actions un producteur engagé dans une démarche

d'éco-conception va-t-il pouvoir mettre en œuvre pour réduire ces impacts ? Il peut :

- choisir une matière première moins impactante, en passant du coton à du coton issu d'une agriculture biologique, réduisant ainsi l'impact, par jean produit, de l'équivalent de 7 km parcourus en cyclomoteur ;
- sélectionner un fournisseur dans un pays où le traitement de l'eau est obligatoire, réduisant ainsi l'émission dans l'eau de 149 g de nitrates, par jean produit ;
- réduire les distances de transport en choisissant du coton cultivé plus près du lieu de fabrication ;
- opter pour un assouplissement et un délavage mécaniques, sans chlore...

Le producteur a ensuite une responsabilité dans l'élaboration des arguments de vente vis-à-vis des consommateurs, car rien ne sert de réaliser un produit à moindres impacts si celui-ci n'est pas diffusé. Le producteur devra sensibiliser le consommateur à l'achat d'un pantalon en coton biologique. Au vu de l'importance des impacts pendant la phase d'utilisation du jean, il peut également donner des informations au consommateur l'incitant à baisser les températures de lavage, à utiliser la quantité de lessive juste nécessaire... L'analyse de cycle de vie (ACV) du téléphone portable a permis de hiérarchiser les phases ayant le plus d'impacts sur l'environnement : la phase de fabrication vient en premier, suivie par la phase d'utilisation (la phase liée aux transports étant quasiment négligeable). L'ACV a ensuite permis d'identifier les éléments du téléphone qui sont responsables de la majorité des impacts liés à la phase de fabrication. Ceux-ci sont, par ordre d'importance : l'écran LCD, l'ensemble électronique hors batterie et écran, la batterie lithium-ion et, enfin, le chargeur. Sur la base de ces données, le producteur peut alors savoir où il doit concentrer ses efforts en terme d'éco-conception. Il peut également imaginer de nouveaux services à offrir au consommateur : il peut, par exemple, offrir le choix entre différents types de chargeurs lors de l'achat du téléphone, voire supprimer la vente du chargeur... En effet, l'utilisation d'un chargeur dynamo (à manivelle) permet de réduire de façon importante l'impact sur l'environnement du téléphone tout au long de son cycle de vie, et ces chargeurs sont généralement encore en état de fonctionner lors du renouvellement du téléphone. L'impact « effet de serre » du cycle de vie du téléphone portable est équivalent à environ 85 km parcourus avec une voiture à essence moyenne (contre 0,3 km pour le jean).

L'affichage environnemental sur les produits de grande consommation, décidé par le Grenelle de l'environnement, va conduire les professionnels à collecter les données nécessaires pour renseigner les informations qui seront affichées sur les produits. Cette mesure s'adresse au consommateur pour lui donner un élément de choix lors de l'acte d'achat, mais également au producteur. En effet, la collecte de ces données aura pour conséquence directe de faire prendre conscience aux producteurs des impacts environne-

mentaux générés par leur produit. Cette connaissance permettra d'avoir un nouveau regard sur le produit et d'envisager de nouvelles pistes de progrès, d'innovation. Ce nouveau regard est un catalyseur de nouvelles idées et il offre à l'entreprise de nouvelles opportunités. L'entreprise va mettre en lumière les consommations de matières et d'énergie qui sont à l'origine des impacts environnementaux et la recherche de la réduction de ces impacts convergera avec celle de la réduction des coûts, grâce à la diminution de la consommation d'intrants. De plus, les entreprises

développement. Si l'entreprise souhaite faire appel à une expertise extérieure pour l'expérimentation (bureau d'études, centres techniques...), l'ADEME peut apporter un conseil technique (cahier des charges, liste de conseils...) et prendre en charge, sous certaines conditions, 50 % du coût de la prestation [7].

Les expérimentations permettent de former une équipe projet, de la sensibiliser à l'environnement et de prendre connaissance des différents outils et méthodes existants afin de choisir celui qui sera le mieux adapté aux spécificités de l'entreprise.



© Pierre Gleizes/REA

Mesure en laboratoire de l'impact sur l'environnement des effluents des structures de béton.

vont s'étalonner entre elles, se comparer et identifier ainsi plus rapidement les pistes de progrès.

EN PRATIQUE, COMMENT INSTALLER UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION DANS L'ENTREPRISE ?

La démarche nécessite de ré-interroger les pratiques de conception et d'innovation de l'entreprise pour étudier de quelle manière y intégrer l'environnement. Le plus souvent, l'entreprise expérimente la démarche sur un ou plusieurs produits, avant de généraliser l'intégration de l'environnement aux processus de conception et de

Dans la pratique, la démarche d'éco-conception comporte un certain nombre d'étapes importantes, que nous allons détailler :

- définir la stratégie et les objectifs de l'entreprise en matière d'éco-conception ;
- réaliser une évaluation environnementale du produit ;
- mettre en œuvre des stratégies d'amélioration du produit et valider le bénéfice environnemental des solutions retenues, afin d'éviter (ou d'arbitrer) les transferts de pollution.

La première étape, qui vise à définir la stratégie et les objectifs de l'entreprise en matière d'éco-conception, doit permettre d'évaluer sa situation au regard des réglementations environnementales et des pressions externes, du positionnement de la concurrence, des

attentes des clients... Cette analyse permettra de définir sur quelle gamme de produit l'entreprise peut travailler, quel peut être son positionnement marketing, quels moyens elle doit mettre en œuvre, quelle communication est envisageable, quel degré de remise en cause et d'innovation est acceptable, tant pour l'entreprise que pour son marché... Afin de permettre à une entreprise d'identifier quels sont pour elle les enjeux de l'éco-conception, le site www.eco-conception.fr lui propose, par exemple, de s'auto-évaluer.

La seconde étape – incontournable – est de réaliser une évaluation environnementale du produit pour identifier quels sont ses points forts et ses points faibles, en termes d'impacts sur l'environnement. L'éco-conception est une approche fonctionnelle. La produit (ou le service) éco-conçu vise à remplir une fonction et à satisfaire un besoin, tout en en minimisant les impacts sur l'environnement. L'évaluation environnementale porte sur la fonction remplie par le produit, et non sur une référence commerciale ou une unité de vente.

Dans un premier temps, il s'agit de définir « l'unité fonctionnelle » du produit, qui définit le service rendu par ledit produit, et qui est caractérisée par une valeur physique mesurable. Cette unité fonctionnelle sera l'étalon auquel on pourra rapporter tous les impacts environnementaux, en fonction notamment des différents scénarios de conception. Pour l'ACV du jean, l'unité fonctionnelle choisie est « Porter un jean pendant un jour ». Cette unité de référence permet de ramener les impacts potentiels générés tout au long du cycle de vie du pantalon en jean à une journée où il a été porté, en tenant ainsi compte de sa durée de vie. Pour l'ACV du téléphone portable, l'unité retenue est « Utiliser un téléphone portable pendant 11 minutes par jour, sur une durée de 2 ans ». Cette unité fonctionnelle correspond à un scénario d'utilisation moyen. Dans un deuxième temps, l'évaluation peut être réalisée en utilisant différents outils et méthodes :

- des méthodes de questionnement ;
- des outils d'estimation des impacts, tel que le Bilan Produit de l'Ademe (téléchargeable sur www.ademe.fr/bilanproduit);
- des outils spécifiques à un secteur d'activité, tels que EIME (secteur des équipements électriques et électroniques), PRESSAT (secteur des Industries Aéronautiques et Thermiques), Eco Design Interactive Systems (www.ecodis.org, secteurs des équipementiers de l'automobile, des équipements électriques et électroniques, de la mécanique), ECOMOB (entreprises de la maison à ossature bois)... ;
- la méthode de l'analyse de cycle de vie, qui est la seule à faire l'objet d'une normalisation internationale : normes ISO 14040 (2006) et ISO 14044 (2006).

Enfin, dans un troisième temps, il s'agit de mettre en œuvre des stratégies d'amélioration du produit et d'éviter (ou d'arbitrer) les transferts de pollution. L'évaluation environnementale permet d'identifier les améliorations susceptibles d'être apportées au produit et de déterminer les priorités d'action. Il s'agit alors de

rechercher des alternatives de conception. Le processus fait appel à la créativité de l'équipe projet. Les améliorations technologiques peuvent porter sur une ou plusieurs des étapes du cycle de vie du produit : alléger le produit ou réduire le nombre de composants, intégrer de la matière recyclée, optimiser la logistique ou le système d'emballage, améliorer les techniques de production, réduire la consommation d'énergie ou d'eau lors de l'utilisation... La démarche peut aller plus loin et s'intéresser aux fonctionnalités du produit, à sa durée de vie ou à sa réparabilité... Enfin, cela peut aller jusqu'à une remise en question de la notion même de produit, qui peut être remplacée par un service. On parle alors de dématérialisation ou d'économie de la fonctionnalité, un concept émergent et prometteur...

Ce processus de créativité peut conduire à une amélioration technologique relativement simple, mais bénéfique pour l'environnement, à une innovation majeure voire à une rupture technologique. Pour cette étape, des outils peuvent contribuer à identifier des pistes d'amélioration du produit. On peut citer Ecodesign pilot, téléchargeable sur www.ademe.fr/eco-conception ou la roue des stratégies de l'UNEP [8]...

LES CONDITIONS DE RÉUSSITE D'UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION

Les expériences soutenues par l'Ademe ont montré que certaines conditions contribuent à la réussite d'un projet d'éco-conception.

Une première condition, pour la réussite d'un projet de cette nature, c'est de s'appuyer sur une équipe projet transversale, en associant les différentes compétences de l'entreprise et de proposer des formations ou des sensibilisations pour mettre en place un processus d'apprentissage collectif. Il est intéressant d'associer au démarrage de la démarche non seulement les concepteurs, mais aussi les personnes des services du marketing, des achats, de la production..., pour obtenir les informations nécessaires sur le cycle de vie du produit (voir ci-dessous). Il peut même être nécessaire, au cours du projet, d'associer les utilisateurs, les monteurs ou les clients. Le facteur humain est un point essentiel dans la réussite de la démarche. Or l'éco-conception donne la possibilité d'agir en faveur de l'environnement au sein de son entreprise et ce point est souvent vécu de façon très positive.

Un deuxième facteur de succès est d'intégrer l'environnement dans le processus de conception et d'innovation existant. Les équipes doivent accepter, petit à petit, des adaptations et des modifications, au cours de la conception et du développement du produit. La mise en œuvre de la démarche est souvent progressive et s'inscrit dans un processus d'amélioration continue. Elle peut être freinée par des difficultés à accepter le changement et les évolutions. La norme ISO 14062 [4] propose un schéma type de développement du produit

et elle identifie les étapes auxquelles intégrer l'environnement.

La logique « cycle de vie » de la démarche d'éco-conception, nécessite de sortir des murs de l'entreprise : il s'agit de collecter des données en interne (procédés de fabrication, logistique...), mais aussi en externe (fournisseurs, clients, entreprises de recyclage...). Il est nécessaire d'associer les différentes compétences de l'entreprise : fabrication (pour collecter les données en interne), marketing (pour identifier les comportements et les différents scénarios d'usage du produit), acheteurs (pour obtenir des données auprès des fournisseurs), logistique (pour les données relatives aux distances parcourues par le produit), etc.

La mise en œuvre de la démarche nécessite l'acquisition de nouvelles connaissances et compétences. Des outils et méthodes existent, qui peuvent faciliter cette acquisition, et même contribuer à une meilleure appropriation du sujet par l'entreprise. Au cours de la démarche, il est également nécessaire de trouver la méthode et les outils les mieux adaptés à l'entreprise (cf. *infra*).

L'ÉCO-CONCEPTION, DE NOUVELLES OPPORTUNITÉS D'INNOVATION ET DE CRÉATIVITÉ

La prise en compte de l'environnement dans la conception et dans le développement des produits ouvre de nouvelles voies d'amélioration technique ou d'innovation. Les projets technologiques de recherche et développement que l'Ademe a soutenus dans un appel à projets, en 2004, nous enseignent que le processus de créativité induit par la démarche d'éco-conception peut déboucher sur différents degrés d'innovation [9] :

- *une amélioration technologique relativement simple et bénéfique pour l'environnement :*

La démarche d'éco-conception de Kindy a consisté à réduire l'ensemble des multiples impacts environnementaux de la chaussette en travaillant sur les matériaux utilisés (fibres textiles, colorants, encres...), les processus de tricotage et de teinture, les emballages et la logistique...

- *une innovation importante, voire une rupture technologique :* l'intégration du facteur environnement à la phase de R&D contribue à repenser complètement le produit.

Ce fut le cas pour les projets de Somaro Prosign, de Rowenta ou de Calor. Somaro Prosign (produits de marquages routiers et autoroutiers) a initié sa réflexion en cherchant à anticiper les tensions sur les matières premières et les énergies fossiles. Dans le cadre de ce projet, l'entreprise a substitué des ressources renouvelables à des ressources non renouvelables, en mettant au point une formule complètement innovante, à base notamment de coquilles d'huîtres. Dans le cas de ce produit, la performance technique a été accrue. La performance environnementale a été calculée grâce à une

analyse de cycle de vie (ACV), qui a permis d'identifier les points forts et les points faibles de ce nouveau produit et de pointer les pistes d'amélioration environnementale. Ce projet souligne à quel point il est important qu'un concepteur reste vigilant sur les transferts de pollution potentiels : une amélioration sur un impact peut se traduire par une détérioration sur un autre. Si le problème est identifié, l'entreprise peut entreprendre une démarche qui tend à réduire tous ces impacts.

- *une innovation organisationnelle :* parfois, le seul fait d'intégrer la dimension environnement conduit à une modification organisationnelle de l'entreprise en termes de gestion de projet ou de service proposé au client. Le projet de R&D de Chronopost en est une bonne illustration. Les améliorations sur le produit ont été associées à une modification du service proposé et à une amélioration logistique.

L'ensemble de ces projets illustre le fait que, pour toute entreprise qui souhaite innover ou améliorer son produit, l'environnement est un facteur supplémentaire d'innovation et de créativité. On constate également que lorsqu'il s'agit d'innovation radicale, la démarche d'éco-conception s'inscrit dans une stratégie active, que l'entreprise aurait eu intérêt à adopter, indépendamment de son intérêt environnemental. Elle se repositionne ainsi sur son marché avec un produit de plus grande valeur en termes de fonctionnalité, et qui a, en plus, un intérêt environnemental. Elle ne souhaite d'ailleurs pas toujours communiquer sur l'intérêt environnemental du projet : l'argument de vente tient dans le produit lui-même. Ce basculement est notable : on est passé d'un monde où l'environnement était un argument rhétorique de communication à un monde où l'environnement devient un facteur de compétitivité.

DE NOMBREUX OUTILS ET MÉTHODES D'ÉCO-CONCEPTION : COMMENT CHOISIR ?

L'outil n'est qu'un support à la démarche d'éco-conception et il ne peut pas remplacer l'implication de l'équipe projet qui, seule, peut :

- faire de l'environnement un facteur de créativité ;
- faire des choix de conception en fonction des différentes contraintes (économiques, environnementales, techniques...).

Les grands principes d'une démarche d'éco-conception sont communs à tous les produits. Ils sont définis dans la norme ISO 14062 [4]. En revanche leur mise en œuvre est spécifique à chaque famille de produit et à chaque entreprise. Adapter un outil existant au contexte de l'entreprise est souvent une condition pour que celle-ci s'approprie le sujet de l'éco-conception et qu'elle en tire le maximum de bénéfice. C'est pourquoi de nombreux outils d'éco-conception existent, qui peuvent aider les équipes projets aux différentes étapes du projet définies ci-dessus. Face à la multitude d'outils, comment faire un choix ?

Pour illustrer cette thématique, Tatiana Reyes [10] a développé la théorie du mécanisme du cheval de Troie méthodologique, dans laquelle la co-création des outils d'éco-conception entraîne la participation de l'ensemble de l'organisation, stimule l'apprentissage par l'action et contribue ainsi à «l'invasion du cœur de la conception» par l'environnement.

L'Ademe a déjà financé la création de nombreux outils :

- adaptés à une famille de produits donnés ;
- adaptés à un secteur industriel ;

sous la forme :

- de guides ou de logiciels ;
- de méthodes (qualitatives ou quantitatives).

Pour aider à qualifier les outils afin de vérifier s'ils sont adaptés à la démarche d'une entreprise donnée, nous proposons à celle-ci le questionnement ci-après :

- Quelle est la nature de ma démarche ? Quel est son degré de maturité ?
- *Caractéristique de l'outil* : nom de l'outil, développé par qui et pour qui ? Où est-il disponible et est-il payant ? A quel type de produit est-il adapté ?
- *Type de support* : s'agit-il d'un guide et/ou d'un rapport papier, ou bien d'un outil informatique ?
- *Type de méthode* : prend-elle en compte tout le cycle de vie et tous les impacts sur l'environnement ? En d'autres termes, s'agit-il d'une méthode mono-étape ou multi-étape ? Monocritère ou multicritères ? Qualitative ou quantitative ?
- *Etape(s) de la démarche d'éco-conception concernée par l'outil développé* :
 - support à la définition de la stratégie et des objectifs de l'entreprise en matière d'éco-conception ?
 - évaluation environnementale du produit ?
 - support à la mise en œuvre des stratégies d'amélioration du produit, à la créativité et à l'innovation ?

- support à la communication environnementale produit ?

• *Types d'indicateurs utilisés* :

- indicateurs d'impacts (ex : effet de serre...)
- indicateurs de flux (ex : consommation d'eau...)
- indicateurs de conception (masse totale du produit, nombre de pièces, masse de matière recyclée/vierge entrant dans le produit, temps de démontage pour aboutir à une séparation des matériaux, durée de vie, bruit lors de l'utilisation...)
- indicateurs de management (nombre de personnes formées, pourcentage des achats intégrant des critères environnementaux...)

• *Mode d'intégration de l'outil dans le processus de conception* : qui peut utiliser l'outil ? A quel moment du processus de conception doit-on l'utiliser ? Un apprentissage ou une formation sont-ils proposés avec l'outil ?

En conclusion, il existe de nombreux outils, méthodes et données disponibles qui peuvent être utilisés et adaptés à chaque entreprise pour faciliter la mise en œuvre de la démarche de l'éco-conception. Mais l'effort et le temps nécessaires à l'intégration de l'éco-conception représentent-ils un investissement rentable ?

QUELS RETOURS ÉCONOMIQUES PEUT-ON ATTENDRE D'UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION ?

Le premier constat est que le nombre d'entreprises engagées dans une démarche d'éco-conception soutenues par l'Ademe (nombre de diagnostics) est en croissance constante, comme en témoignent les bilans annuels (avec une forte progression depuis 2004) (cf. figure 1).

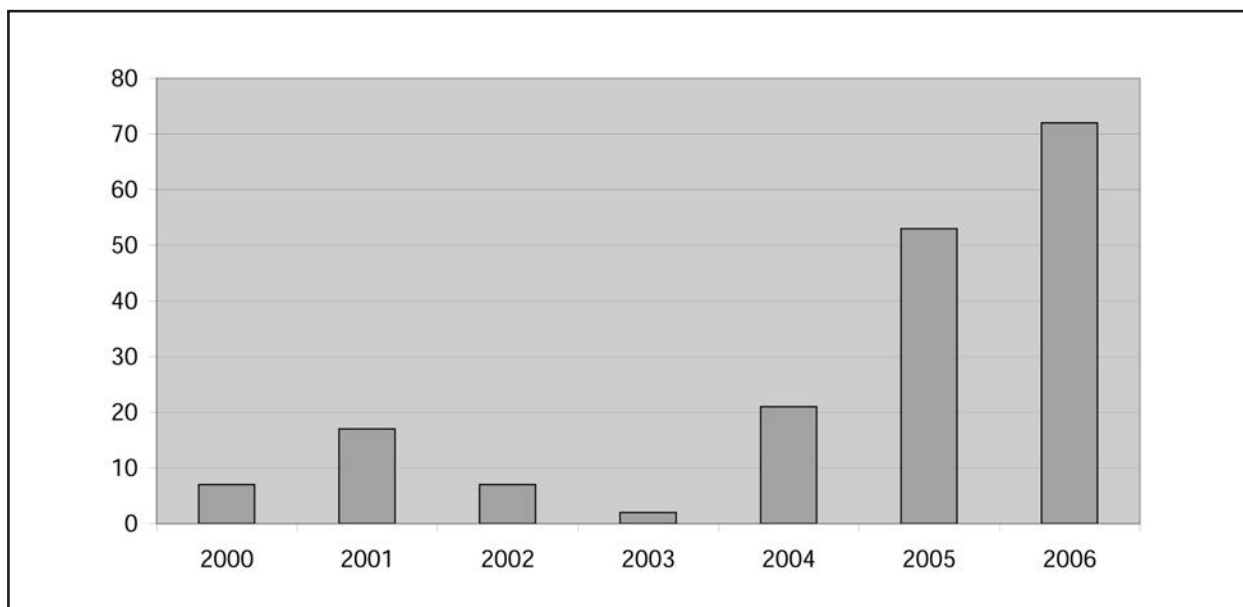


Figure 1 : Nombre annuel de diagnostics éco-conception soutenus par l'Ademe.

Bien entendu, le nombre d'opérations aidées par l'Ademe ne donne qu'une indication partielle sur le nombre d'entreprises réellement engagées dans la démarche. En effet, compte tenu du caractère stratégique de la conception et du développement de nouveaux produits, de nombreuses entreprises ne demandent pas d'aide à l'Ademe.

Les entreprises sont donc de plus en plus nombreuses à identifier les bénéfices d'une telle démarche. Leurs témoignages nous permettent de qualifier les retours économiques et les bénéfices d'une démarche d'éco-conception, mais il est beaucoup plus difficile de les quantifier. En effet, les données économiques (tels que les coûts de revient, le chiffre d'affaire, la progression des ventes) concernant une entreprise en particulier sont souvent jugées confidentielles. Nous constatons également que les entreprises qui s'engagent dans cette voie persistent.

Les bénéfices peuvent être directs (part de marché, réduction des coûts) ou indirects (miser sur le plus long terme, améliorer la communication de l'entreprise ou l'image...)

Les bénéfices directement liés à la démarche d'éco-conception dépendent du positionnement « marché » de l'entreprise. On peut proposer 3 types de positionnement :

- **le positionnement « environnemental »** : la mise sur le marché du produit est basée sur sa performance environnementale ou bien la réponse à un appel d'offre met en avant des critères environnementaux, même si ce dernier ne le spécifiait pas. L'éco-conception permet alors de se positionner sur de nouveaux marchés ou de remporter certains appels d'offres. Pour l'entreprise, le bénéfice lié à la démarche d'éco-conception est direct et peut facilement être quantifié.

Il faut noter que les différents marchés sont de plus en plus sensibles à l'environnement : les achats publics et les achats privés intègrent de plus en plus souvent des critères environnementaux. Par ailleurs, les consommateurs sont de plus en plus sensibles au développement durable, ce qui se traduit dans leurs actes d'achat.

- **le positionnement « technique / technologique »** : la mise sur le marché du produit éco-conçu sera basée sur la performance ou l'innovation issue de la démarche, et non sur sa valeur environnementale. Le produit n'est pas sur un segment de marché spécifique. Il est dès lors difficile de quantifier le bénéfice économique découlant spécifiquement de l'éco-conception.

- **le positionnement « marque à forte image »** : pour le client, le respect de l'environnement doit faire partie intégrante de l'excellence du produit, l'entreprise communique plus sur la marque que sur l'environnement. Sur ce segment, également, il est difficile de quantifier le bénéfice économique lié à l'éco-conception.

Au-delà du positionnement, la démarche peut apporter à l'entreprise des bénéfices indirects tels que :

- le respect ou l'anticipation des réglementations,
- la construction de relations de confiance avec les partenaires de l'entreprise en montrant son engagement en

faveur de l'environnement (ONG, banques, compagnies d'assurance, actionnaires...),

- la réduction des coûts de production, grâce à la réduction des quantités de matière ou d'énergie, du temps de montage, des coûts de logistique...,
- la réduction des risques de boycott parce que telle matière première n'est pas gérée durablement ou parce que telle substance a des impacts négatifs sur la santé ou l'environnement, ou encore parce que le produit se retrouve dans la nature, en fin de vie...,
- l'anticipation de l'avenir : raréfaction des ressources renouvelables, et donc la hausse des cours des matières premières.

Même s'il est difficile de quantifier les bénéfices économiques de l'éco-conception, les retours d'expérience montrent que cette démarche permet à l'entreprise d'optimiser les coûts, de réduire les risques, et surtout d'accroître ou de préserver sa compétitivité grâce à l'innovation et à la valeur ajoutée qui en découlent.

Une étude initiée par la Chambre de Commerce et de l'Industrie de Saint-Etienne est en cours pour mieux identifier les retours économiques d'une démarche d'éco-conception. Les résultats de cette étude seront disponibles en novembre 2008.

UNE NOUVELLE ÉCONOMIE INDUSTRIELLE OU UNE NOUVELLE ÉCONOMIE À INVENTER ?

Les enquêtes effectuées auprès des consommateurs montrent qu'ils sont à la recherche de plus en plus de valeurs au travers de leur consommation, d'où la croissance des produits issus de l'agriculture biologique, des produits issus du commerce équitable, des produits d'entretien issus des matières végétales...

Jean-Guy Le Floch, PDG d'Armor-Lux, témoigne dans la lettre de la Direction Générale des Entreprises, dans un dossier « le textile habillement, un secteur d'avenir » : *« Nous avons un contrat de licence avec Max Havelaar et les chiffres de vente sous cette licence connaissent une croissance exponentielle. C'est bien le signe que le consommateur est aujourd'hui très sensible au caractère éthique de son achat. »*

Internet induit de nouveaux comportements, avec l'achat et la revente de produits en-dehors des circuits classiques, ce qui peut contribuer, d'un point de vue environnemental, à l'allongement de la durée de vie du produit. Certains sites (tel que gooduse.org) proposent également de mutualiser, d'échanger, de donner des produits.

La vente par relations se développe. Elle permet d'expliquer les valeurs de l'entreprise qui fabrique le produit, mais également de conseiller le client sur l'utilisation optimale du produit (ce qui peut contribuer à en minimiser l'impact environnemental, tout au long de sa phase d'utilisation).

Par exemple, pour les produits d'entretien issus des matières végétales et vendus par relations, les produits

vendus sont plus concentrés : la conseillère peut donc expliquer comment les diluer et comment utiliser la dose idoine. Elle peut également expliquer qu'ils sont aussi performants que les produits issus de la pétrochimie, même si leur odeur et leur texture diffèrent ce qui, dans un premier temps, peut être un frein à l'achat.

Par ailleurs, la multiplication du nombre de produits génère de plus en plus d'impacts sur l'environnement. L'ouvrage « Il y aura l'âge des choses légères » [3] décrit ce phénomène de la façon suivante : « *La multiplication des objets dans notre environnement immédiat nous conduit à les utiliser de moins en moins longtemps. En moins d'un siècle, le nombre d'objets qui nous entourent a plus que décuplé [11] : une famille de quatre personnes, qui possédait entre 150 et 200 objets, en possède aujourd'hui de 2 000 à 3 000. (...) La durée effective de l'utilisation des objets est, de nos jours, très inférieure à leur potentiel : trente minutes par an, pour une perceuse grand public, dont la durée de vie sera de dix ans. Une automobile reste à l'arrêt 92 % de son temps... De tels décalages poussent à s'interroger sur la réelle nécessité de l'accumulation de biens inertes.* »

Au vu de l'évolution actuelle de la mentalité des consommateurs et des fortes contraintes qui pèsent sur notre environnement, une nouvelle économie, moins intensive en matière première et en énergie est à inventer. L'éco-conception peut contribuer à réduire les impacts des produits sur l'environnement, dans une logique de cycle de vie multicritères. D'autres démarches, complémentaires à l'éco-conception, peuvent également contribuer à minimiser les impacts des produits sur l'environnement :

- l'économie de la fonctionnalité : il s'agit, pour l'entreprise, de proposer la vente d'un service, plutôt que celle d'un produit ;
- l'écologie industrielle : c'est un mode de management environnemental qui vise à réduire les flux de matière et d'énergie en concevant des écosystèmes industriels dans lesquels ces flux circuleraient dans des cycles autant que possible bouclés. Par exemple, les déchets ou les effluents d'une industrie deviennent des matières premières pour une autre industrie ;
- la démarche *Cradle to Cradle* : avec cette approche « du berceau au berceau », l'entreprise doit penser le produit au-delà de sa première vie, c'est-à-dire concevoir le produit et ses composants dans une optique de réutilisation constante (du produit, et même de ses composants). Au-delà de l'approche de comptage (des impacts), c'est une approche d'écocoefficiency, qui entend augmenter le rendement des composants d'un produit lui-même, et donc du produit. Il s'agit d'une démarche d'écologie industrielle, appliquée aux produits ;
- la mise en place de filières de fin de vie, pour les produits comme pour les emballages, les équipements électriques et électroniques...

Au-delà des entreprises, le changement nécessitera probablement la mobilisation de toute la société. Pour cer-

tains produits, des solutions pourraient être imaginées au niveau d'un territoire, d'une collectivité, d'un immeuble. Ainsi, aux Etats-Unis, par exemple, pour éviter les risques de dégâts des eaux et la mise en place d'un réseau électrique spécifique, des machines à laver en libre-service sont disponibles, dans chaque immeuble. Dans les collectivités, il existe déjà des bibliothèques, des ludothèques : on pourrait imaginer des « bricothèques » (des espaces de bricolage), qui deviendraient également des lieux d'échange de savoir et de convivialité, des « culinothèques » (pour les articles culinaires, qui sont si peu utilisés...) ou des espaces de gastronomie... Dans les grandes villes, on voit également apparaître des systèmes de partage de vélos (tel le Vélo'V à Lyon ou le Vélib à Paris) ou des systèmes d'auto-partage.

Toutes les initiatives qui contribueront à intensifier l'usage des produits iront dans le sens de la préservation de l'environnement...

Pour diminuer notre empreinte environnementale d'un facteur $\times 4$, et a fortiori d'un facteur $\times 10$, une nouvelle économie industrielle ne sera sans doute pas suffisante ; il s'agit de créer les conditions d'une nouvelle économie plus respectueuse de l'environnement, dont la croissance serait découplée de la consommation de matière et d'énergie. C'est possible : nous l'avons vu, des initiatives vont déjà dans ce sens ; il s'agit, maintenant, de passer à la vitesse supérieure.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (MIES), agrégation des chiffres 2002, voir <http://www.humanvillage.com/JE-REDUIS-MES-EMISSIONS.html>
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?nocache=yes&sort=-1&cid=96&m=3&catid=13423>
- [2] Ademe – BIO Intelligence Service, Synthèse des impacts sur l'environnement des produits et services consommés en Europe, mai 2006.
- [3] (Thierry) Kazazian & Co, Il y aura l'âge des choses légères, mars 2003.
- [4] AFNOR : Norme XP ISO/TR 14062. Management environnemental – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit. AFNOR, janvier 2003.
- [5] Ademe – BIO Intelligence Service, L'éco-profil d'un pantalon en jean, octobre 2006 http://www.ademe.fr/internet/eco-jean/Ecoprofil_jean_final.pdf
- [6] Ademe – CODDE : Analyse du Cycle de Vie d'un téléphone portable – Synthèse, avril 2008. bientôt sur www.ademe.fr/eco-conception.
- [7] Ademe : Diagnostic et accompagnement éco-conception (ou management environnemental, approche produit)

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=26304&p1=1&p2=1&ref=1>

[8] UNEP: Ecodesign, a promising approach, 1996.

[9] Ademe : Dossier de presse «La recherche en éco-conception, Bilan très positif de l'appel à projets de 2004». <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=47790&ref=19684&p1=B>

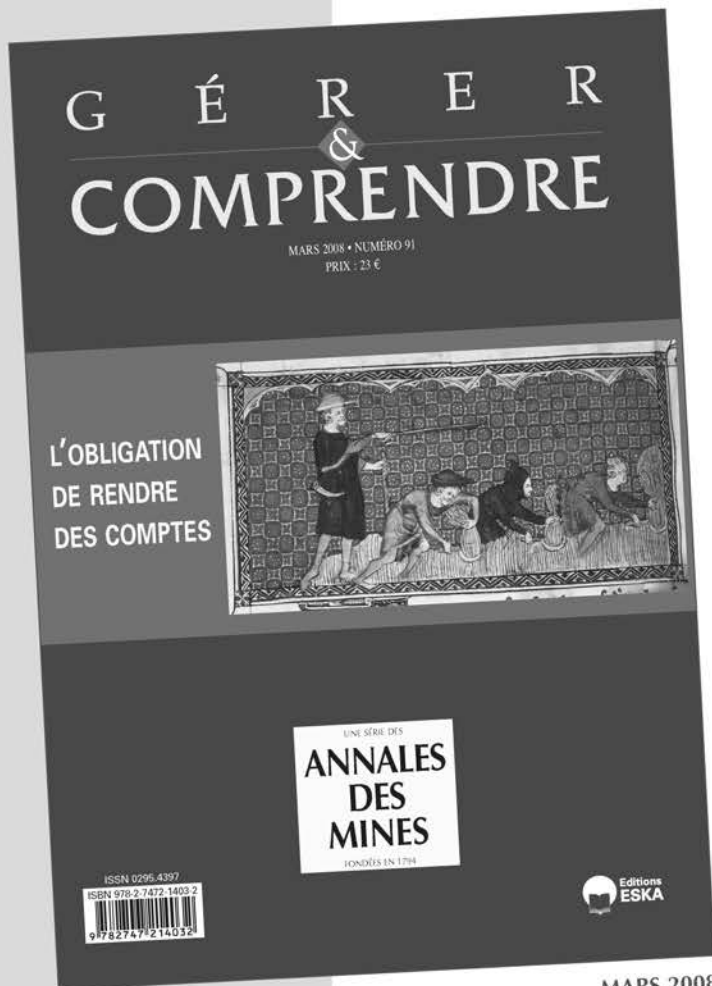
[10] (T.) REYES, L'éco-conception dans les PME, Les mécanismes du cheval de Troie méthodologique et du choix de trajectoires comme vecteurs d'intégration de l'environnement en conception, décembre 2007.

[11] (André) Branzi, Nouvelles de la métropole froide, éditions du Centre Georges Pompidou, 1991.

G É R É R & COMPRENDRE

SOMMAIRE

- DE L'OBLIGATION DE RENDRE DES COMPTES OU ACCOUNTABILITY
Par Hervé DUMEZ
- THE OBLIGATION TO ACCOUNT IN ENGLISH LAW
Par Henry MARES
- LE RENDU DE COMPTES DANS L'ENTREPRISE : THÉORIES ET PERCEPTIONS
Par Magali AYACHE
- LA FABRIQUE DES COMPTES DANS UNE ENTREPRISE DE BTP
Par Bertrand FAURÉ
- LE CLASSEMENT DES HÔPITAUX : UNE NOUVELLE MANIÈRE DE RENDRE DES COMPTES
Par Aurore SCHILTE et Étienne MINVIELLE
- LE CHERCHEUR ET L'OBLIGATION DE RENDRE DES COMPTES
Par Margit OSTERLOH, Bruno S. FREY et Fabian HOMBERG
- ORCHESTRER LES ACTIFS POUR RESTER CONCURREN-
TIEL. La trajectoire stratégique de Raytheon
Par Colette DEPEYRE
- COMMENT CAPITALISER LES CONNAISSANCES GÉNÉ-
RÉES PAR LES PROJETS DE R&D ?
Par Gilda SIMONI
- Blanche SEGRESTIN
L'ENTREPRISE N'EXISTE PAS, INVENTONS-LA !
À propos du livre de Daniel Bachet, *Les Fondements de l'entreprise - Construire une alternance à la domination financière*, Les Éditions de l'Atelier, 2007
- Jean-Marc WELLER
LE DÉSORDRE ET L'ORGANISATION
À propos du livre d'Eric Abrahamson et David H. Freedman, *A Perfect Mess. The Hidden Benefits of Disorder*, New York-Boston-London : Little, Brown and Company, 2006 (*Un peu de désordre = beaucoup de profits*, Paris, Flammarion, 2008)



MARS 2008
ISSN 0295.4397
ISBN 978-2-7472-1403-2

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Gérer & Comprendre mars 2008 - numéro 91 (ISBN 978-2-7472-1403-2)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville

FOR OUR ENGLISH-SPEAKING READERS

ECODESIGN, A NEW INDUSTRIAL ECONOMY?

Editorial

Pierre Couweinhes

Foreword: Ecodesign, an environmental economics – toward a new industrial socio-economy

Marie-Josèphe Carrieu-Costa

Ecodesign is a special tool for turning sustainable development, based on a new equilibrium, into reality. It opens the way toward a new industrial economy – a “socio-economy”.

Tools, processes and methods in question

Ecodesign, a few questions for architecture

Pascal Gontier

Thanks to the development of an architecture based on the idea of a “passive building”, the efficiency of heating has improved tremendously. Other environmental issues just as important, such as natural lighting or the management of water and garbage, have often been left in the background. In fact, part of the gains from improved heating has been offset by the growing consumption of energy for ventilation, air-conditioning and lighting. A new generation of environmental friendly buildings will have to take account of all forms of energy consumption – not just the energy used to occupy them but also the “shady” category of the energy for making and using construction materials.

Ecotechnology in the building trades

Bruno Peuportier

Tools have been developed to assess the environmental impact of buildings by taking into account the making of construction materials, operations at the building site, the use of the building (heating and water consumption), its demolition, and the processing and recycling of its rubble. These tools for assisting decision-making can serve to study technical innovations with regard to environmental quality.

Toward buildings with a positive energy balance

Jean-Christophe Visier

As the results of the recent “Grenelle of the Environment”, which assembled French officials and organizations for a wide-ranging discussion of ecological issues, enter into application, buildings should gradually switch from being the foremost consumers of energy to becoming producers of energy. The stakes, technically, economically and socially, are enormous.

Packaging and the environment: An assessment and the prospects

Charles Tissandié and Yannick Knapp

The environmental impact of packaging still sparks strong reactions in public opinion. Remarkable progress has been made in recent years thanks to simple, logical measures and changes in regulations. The future of packaging is ecodesign. It takes into account a product’s environmental effects

throughout its logistic cycle and life. This calls for more sophisticated analytical tools, which are now being developed.

The analysis of a product’s life cycle and ecodesign: Keys for a new chemistry

Sylvain Caillol

The process of innovation in industry, particularly the chemical industry, is undergoing a change. It must be integrated into the ecodesign of products and procedures. From this viewpoint, the life-cycle analysis, a tool used to identify effects on the environment, falls short. A new tool, integrated in the process of innovation, is needed for steering ecodesign. Small business should be able to use it.

Energy and materials: New points of view

Wastes: Toward a circular economy

Diane d’Arras

Managing the wastes produced by our way of living and the growing population (especially in cities) is a challenge for our societies. It must be taken up with regard to the objectives set by the recent “Grenelle of the Environment”, in particular the operational measures foreseen for reducing and recycling wastes.

More electricity for less CO₂

Yves Bamberger

Efficient solutions based on electricity exist for energy consumption by buildings, industry and transportation. Replacing the combustion of fossil fuels with them should significantly reduce CO₂ emissions. On account of hydraulic and nuclear power, most of the electricity produced in France does not come from fossil fuels. This proportion should even increase in the future thanks to both the European pressurized reactor (EPR) and renewable energy sources, including wind power.

Ecodesign and renewable raw materials: Biodegradability – the example of polymers

Alain Copinet

Ecodesign often invokes the concept of biodegradability. What does this mean? Several sorts of natural polymers are produced from renewable resources; but how to measure their biodegradability? What are the impediments to developing these products? How to overcome them?

Geologically stocking CO₂, a solution in the fight against climatic change

Jean-Michel Gires

Using fossil fuels still seems a necessity for the coming years. Given this, how to keep the CO₂ thus emitted from spreading into the atmosphere? Capturing CO₂ and stocking it in the earth hold promise.

From company to consumer: New requirements

Is ecodesign profitable for business?

Matthieu Glachant

In one opinion poll after another, consumers never stop declaring their concern about environmental issues. But do their purchases actually reflect this concern? Firms are proudly boasting about their "performance" on environmental questions. But are they actually designing and backing "green" products? What role should public authorities play in this context?

Managing sustainable development at Lafarge

Olivier Luneau

A world leader in building materials, Lafarge is the only firm in this industry that, in 2008, is listed among the 100 transnational corporations that are the most committed to sustainable development. For several years now, Lafarge has been trying to reconcile several concerns: industrial efficiency, the creation of value, respect for people and cultures, protection of the environment, the conservation of natural resources and saving energy.

An example of ecodesign in agribusiness: AgriMip Innovation, a pole of competitiveness in the Midi-Pyrénées region

Hubert de Rochambeau, Thierry Veronese and Patrice Roché

Agricultural products must satisfy both consumer needs (tastes and consumer confidence in produce and production processes) and

citizen demands (a responsible, environmental friendly industry and agriculture). AgriMip Innovation's ambition is to design an engineering of innovation adapted to this situation thanks to an original analytical tool: "agro-chains".

Small businesses faced with ecodesign and sustainable development

Sophie Boutillier, Olivier Contant and Claude Fournier

The concept of ecodesign was born in big corporations. Can it be transposed to small businesses? The development of environmental analysis software (product life cycle, energy balance, ecological footprints) has opened an access to environmental data for small firms. But might the latter not already be involved in ecodesign without knowing it? A study conducted in the Nord-Pas-de-Calais region suggests this.

Ecodesign, an added value for firms and a future factor in competitiveness?

Myriam Puaut

As feedback from experience shows, a step in finding the way to reduce a product's impact on the environment is to become aware of it. This new way of looking at products opens possibilities for technical improvements and innovations. It is an additional driving force in creativity. It can increase a product's environmental added value, make it stand out from rivals and even respond to new expectations in the marketplace.

Issue editor: Marie-Josèphe Carrieu-Costa

AN UNSERE DEUTSCHSPRACHIGEN LESER

DIE ÖKOKONZEPTION, EINE NEUE INDUSTRIEWIRTSCHAFT ?

Leitartikel

Pierre Couveinhes

*Vorwort : Die Ökokonzeption : eine ökologische Wirtschaft.
Für eine neue industrielle Sozioökonomie*

Marie-Josèphe Carrieu-Costa

Die Ökokonzeption ist ein privilegiertes Instrumentarium zur Verwirklichung einer Nachhaltigkeit, die auf neuen Gleichgewichten beruht. Sie bahnt den Weg für eine neue Industriewirtschaft, für eine neue Sozioökonomie.

Zur Debatte über Instrumentarien, Verfahren und Methoden

Die Ökokonzeption : einige Fragen an die Architektur

Pascal Gontier

Die Entwicklung einer Architektur, die auf dem Prinzip des "Passivhauses" beruht, hat zu einer spektakulären Verbesserung auf dem Gebiet der energiesparenden Heizanlagen geführt. Aber andere umweltrelevante Aspekte, die ebenso wichtig sind, wie natürliche Beleuchtung, Wasserversorgung und Abfallbeseitigung, sind oft als zweitrangig angesehen worden. Außerdem wird ein Teil der eingesparten Heizenergie durch den steigenden Energieverbrauch für Belüftung, Beleuchtung oder Klimatisierung aufgehoben. Für eine neue Generation von umweltgerechten Gebäuden muss die Gesamtheit des Energieverbrauchs der Benutzungsperiode in Betracht gezogen werden, wie auch die „graue“ Energie, die zur Herstellung der Materialien und ihrer Verwendung nötig ist.

Die Öko-Technologien in der Bautechnik

Bruno Peuportier

Um einschätzen zu können, wie Gebäude die Umwelt belasten, sind Methoden entwickelt worden, die die Herstellung der Baustoffe, die Bauarbeiten, die mit der Benutzung (Heizung und Wasserverbrauch) zusammenhängenden Verfahren, wie auch die Abbrucharbeiten, die Abfallbeseitigung und die eventuelle Wiederverwertung integrieren. Diese Methoden sollen Entscheidungshilfen bieten und eine Prüfung der technischen Innovationen unter dem Blickwinkel der Umweltqualität ermöglichen.

Für Gebäude mit positiver Energie

Jean-Christophe Visier

Den Beschlüssen des Umweltgipfels „Grenelle de l'environnement“ zufolge müssten die Baubestimmungen nach und nach darauf abzielen, dass die Gebäude sich von den größten Energieverbrauchern zu Produzenten entwickeln. Die technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Implikationen dieses Paradigmenwandels sind beträchtlich.

Verpackung – Umwelt : Bilanz und Perspektiven

Charles Tissandié und Yannick Knapp

Die Belastung der Umwelt durch Verpackungsmüll löst immer wieder heftige Reaktionen in der öffentlichen Meinung aus. Im

Laufe der letzten Jahre sind dank einfacher logischer Maßnahmen und aufgrund neuer gesetzlicher Regelungen nennenswerte Fortschritte erzielt worden.

Die Zukunft der Verpackungsindustrie wird von einer Ökokonzeption abhängen, die auf der ganzen logistischen Kette und für die ganze Lebensdauer der Produkte die Auswirkungen auf die Umwelt berücksichtigt. Dies erfordert Analysemethoden, die immer genauer sind. Diese sind heute in der Entwicklung begriffen.

Die Analyse des Lebenszyklus und Ökokonzeption : die Schlüssel zu einer neuen Chemie

Sylvain Caillol

Die Innovationsprozesse in der Industrie, insbesondere in der chemischen Industrie, sind heute im Wandel begriffen. Sie müssen nunmehr die Ökokonzeption des Produkts oder des Verfahrens berücksichtigen. Deshalb ist die Analyse des Lebenszyklus, wie sie bisher zur Identifizierung der Umweltbelastung benutzt wurde, nicht mehr ausreichend. Es ist nunmehr ein neues Instrumentarium nötig, das in den Innovationsprozess integriert ist, ein Steuerungsinstrument zur Ökokonzeption, das von den mittelständischen Betrieben benutzt werden kann.

Energie und Baustoffe : einige neue Betrachtungsweisen

Der Müll auf dem Weg des Wirtschaftskreislaufs

Diane d'Arras

Der Umgang mit dem Müll, der aus unserer Lebensweise und aus dem demographischen Wachstum resultiert (insbesondere in den Städten), stellt nunmehr eine wahre Herausforderung für unsere Gesellschaften dar. Diese Einsicht ist heute infolge der Zielsetzungen des Umweltgipfels „Grenelle de l'environnement“ und der Maßnahmen, die zur Reduzierung der Abfälle und zu ihrer Wiederverwertung beschlossen wurden, zwingend geboten.

Mehr Strom für weniger CO₂

Yves Bamberger

Elektrische Lösungen, die in energetischer Hinsicht effizient sind, existieren für die verschiedenen Verbrauchersektoren : Bauwirtschaft, Industrie, Transportwesen. Sie sollen die gegenwärtigen Verfahren, die auf fossilen Brennstoffen beruhen, ersetzen und eine beträchtliche Verminderung der CO₂-Emissionen bewirken. Tatsächlich wird heute dank der hydraulischen und nuklearen Energie der größte Teil der in Frankreich produzierten Elektrizität nicht auf der Basis fossiler Energieträger produziert, und dieser Teil müsste in der Zukunft mit der Inbetriebnahme des Reaktors EPR sowie durch die Nutzung von Windkraft und anderer erneuerbarer Energien noch größer werden.

Ökokonzeption und nachwachsende Rohstoffe

Die biologische Abbaubarkeit : das Beispiel der Polymere

Alain Copinet

Die Ökokonzeption beruft sich oft auf den Begriff der biologischen Abbaubarkeit. Aber was bedeutet eigentlich dieser Begriff ?

Es existieren mehrere Typen von natürlichen Polymeren, die aus nachwachsenden Rohstoffen stammen, aber wie soll ihre biologische Abbaubarkeit gemessen werden ?

Welche Hindernisse stellen sich der Entwicklung dieser Produkte entgegen und mit welchen Maßnahmen ließe sich dem abhelfen ?

Die Bindung und geologische Einlagerung von CO₂ : eine der Lösungen im Kampf gegen den Klimawandel

Jean-Michel Gires

Die Nutzung fossiler Energien wird wahrscheinlich noch viele Jahre notwendig sein. Wie lässt es sich unter diesen Umständen vermeiden, dass das CO₂, das durch die Nutzung dieser Energien erzeugt wird, sich in der Atmosphäre verflüchtigt ? Die Bindung und Einlagerung von CO₂ könnten eine viel versprechende Lösung sein.

Von den Unternehmen zu den Verbrauchern : neue Ansprüche (Management, Strategie, Beziehungen zum Markt und zu den Verbrauchern)

Ist die Ökokonzeption für Unternehmen rentabel ?

Matthieu Glachant

Von Umfrage zu Umfrage beteuern die Verbraucher immer wieder, wie sehr sie um die Umwelt besorgt sind, doch konkretisiert sich dies wirklich in ihrem Verhalten als Käufer ?

Die Unternehmen rühmen sich gern ihrer Leistungen im Umweltbereich, aber sind sie immer darum bemüht, „grüne“ Produkte zu konzipieren und auf den Markt zu bringen ?

In diesem Kontext stellt sich die Frage, welche Rolle der Staat zu spielen hat.

Das Nachhaltigkeitsmanagement bei Lafarge

Olivier Luneau

Der weltweite Marktführer für Baumaterial, Lafarge, ist das einzige Unternehmen dieses Sektors, das in die Liste 2008 der 100 multinationalen Firmen aufgenommen wurde, die sich am stärksten für nachhaltige Entwicklung eingesetzt haben. Lafarge bemüht sich seit vielen Jahren, industrielle Effizienz, Wertschöpfung, Respekt vor Mensch und Kultur, sowie Umweltschutz und ökonomischen Umgang mit natürlichen Ressourcen und Energie zu vereinbaren.

Ein Beispiel für Ökokonzeption in den Sektoren der Nahrungsmittel- und Agrarindustrie : das Kompetenznetz „AgriMip Innovation“ in der Region Midi-Pyrénées

Hubert de Rochambeau, Thierry Veronese und Patrice Roché

Die Erzeugnisse der Landwirtschaft müssen nunmehr nicht nur den Bedürfnissen der Verbraucher (Geschmack und Vertrauen in die Produkte und Produktionsprozesse), sondern auch den Wünschen der Gesellschaft (eine verantwortungsvolle und umweltbewusste Landwirtschaft und Industrie) entsprechen.

Das Kompetenznetz „AgriMip Innovation“ hat den Ehrgeiz, eine dieser Situation entsprechende innovative Ingenieurtechnik zu entwickeln, und verwendet dazu ein originelles Analyseinstrumentarium : die Agrar-Ketten.

Die handwerklichen Betriebe und die Prinzipien der Ökokonzeption und Nachhaltigkeit

Sophie Boutillier, Olivier Contant und Claude Fournier

Kann das Konzept der Ökokonzeption, das in Großunternehmen ausgearbeitet wurde, auf handwerkliche Betriebe übertragen werden ? Die Entwicklung von Analyse-Software für Umweltthemen (Lebenszyklus, Energiebilanz und Umweltbelastung) hat den Zugang zu Umweltdaten demokratisiert, über die nunmehr auch kleine Betriebe verfügen können. Doch handeln diese nicht bereits nach den Prinzipien der Ökokonzeption, ohne es zu wissen ? Eine Studie, die in der Region Nord- Pas de Calais durchgeführt wurde, legt diese Vermutung nahe.

Die Ökokonzeption : Mehrwert für die Unternehmen und zukünftiger Prüfstein für die Wettbewerbsfähigkeit ?

Myriam Puaut

Die Erfahrungswerte beweisen es : die Umweltbelastung eines Produktes richtig einzuschätzen, heißt, die Mittel zu ihrer Reduktion zu finden. Diese neue Sichtweise bahnt neue Wege zu technischen Verbesserungen und Innovationen. Es ist ein zusätzlicher Kreativitätsmotor, der es möglich macht, den Mehrwert eines Produkts aufgrund von Umweltkriterien zu erhöhen, den Unterschied zur Konkurrenz zu betonen und sogar auf neue Erwartungen des Marktes zu antworten.

Die Beiträge wurden von Marie-Josèphe Carrieu-Costa koordiniert.

A NUESTROS LECTORES DE LENGUA ESPAÑOLA

EL ECODISEÑO, ¿UNA NUEVA ECONOMÍA INDUSTRIAL?

Editorial

Pierre Couveinhes

Prólogo: El ecodiseño o una economía de la ecología. Hacia una nueva socioeconomía industrial

Marie-Josèphe Carrieu-Costa

El ecodiseño es una herramienta privilegiada para hacer del desarrollo sostenible una realidad, basándose en nuevos equilibrios. De cierto modo, abre el camino hacia una economía industrial nueva, hacia una socioeconomía nueva.

Algunas preguntas sobre las herramientas, procesos y métodos del ecodiseño

El ecodiseño, algunas preguntas hechas a la arquitectura

Pascal Gontier

El desarrollo de una arquitectura basada sobre el principio de las "construcciones pasivas", ha permitido una mejora considerable del rendimiento en materias de calefacción. No obstante, otras consideraciones ambientales igualmente importantes, como la iluminación natural o la gestión del agua y de los residuos, han sido frecuentemente olvidadas. De otro lado, una parte de los ahorros en calefacción ha desaparecido con el crecimiento de otros consumos energéticos para la ventilación, la iluminación o el aire acondicionado.

La nueva generación de construcciones más respetuosas del medioambiente deberá tener en cuenta todos los consumos de energía durante el periodo de ocupación, al igual que la energía "gris", relacionada con la fabricación de materiales y con su puesta en obra.

Las ecotecnologías en el campo de la construcción

Bruno Peuportier

Varias herramientas han sido desarrolladas para evaluar los impactos ambientales de las construcciones, integrando la fabricación de los materiales de construcción, la obra, los procedimientos inherentes a la utilización (como la calefacción y el consumo de agua), al igual que la demolición, el tratamiento de los residuos y su reciclaje posible. Estas herramientas tratan de proporcionar una ayuda a la decisión y permiten estudiar innovaciones técnicas bajo el ángulo de la calidad ambiental.

En camino hacia construcciones con energía positiva

Jean-Christophe Visier

Con la puesta en marcha del *Grenelle de l'environnement* (Iniciativa del gobierno francés en torno al medioambiente y al desarrollo sostenible), las construcciones deberán pasar progresivamente del puesto de primeros consumidores de energía al de productores de energía. Los desafíos técnicos, económicos y sociales de dicho cambio de paradigma son considerables.

Embalajes y medioambiente, balance y perspectivas

Charles Tissandier y Yannick Knapp

El impacto de los embalajes sobre el medioambiente suscita siempre reacciones fuertes en la opinión pública. Durante los últimos años

se han logrado progresos apreciables gracias a medidas lógicas y a la evolución de la reglamentación.

El futuro de los embalajes pasa por un ecodiseño, que integre los efectos ambientales sobre toda la cadena logística y durante toda la vida útil de los productos. Esto requiere herramientas de análisis mucho más elaboradas, actualmente en curso de desarrollo.

Análisis de ciclo de vida y ecodiseño, las claves de una nueva química

Sylvain Caillol

Los procesos de innovación de la industria y en particular de la industria química están en plena mutación. En adelante éstos deben integrar el ecodiseño del producto o del procedimiento. Según esta óptica, el ACV (Análisis del Ciclo de Vida), herramienta utilizada hasta ahora para identificar los impactos ambientales, ya no basta. Ahora se requiere una nueva herramienta integrada al proceso de innovación, una herramienta de pilotaje del ecodiseño que puedan utilizar las PYMES.

Nuevos enfoques sobre la energía y los materiales

Los residuos, en el camino de la economía circular

Diane d'Arras

La gestión de los residuos producidos por nuestro modo de vida y por el crecimiento demográfico (principalmente en las ciudades) constituye un verdadero desafío para nuestras sociedades. Este desafío se impone actualmente con mayor fuerza debido a los objetivos definidos por el *Grenelle de l'environnement* y a las medidas operacionales que prevé para reducir la producción de residuos y favorecer su valoración.

Más electricidad para menos CO₂

Yves Bamberger

Existen soluciones eléctricas eficaces en el plan energético para los diferentes tipos de consumidores: construcciones, industria, transportes. Su sustitución a los procedimientos actuales que se basan en combustibles fósiles podría permitir una reducción considerable de las emisiones de CO₂. De hecho, gracias a la energía hidroeléctrica y nuclear, la mayor parte de la electricidad producida actualmente en Francia no utiliza energías fósiles, y esta parte debería crecer aun más en el futuro no sólo con el EPR (Reactor Presurizado Europeo) sino también con la energía eólica y otras energías renovables.

El ecodiseño y las materias primas renovables

La biodegradabilidad: el ejemplo de los polímeros

Alain Copinet

Frecuentemente el ecodiseño hace referencia a la noción de biodegradabilidad, pero, ¿qué significa exactamente este término?

Existen varios tipos de polímeros naturales, provenientes de recursos renovables; ahora bien, ¿cómo medir su biodegradabilidad?

¿Cuáles son los obstáculos al desarrollo de estos productos y qué medidas permitirían superarlos?

La captación y el almacenamiento geológico del CO₂, una de las soluciones para luchar contra el cambio climático*Jean-Michel Gires*

El uso de energías fósiles parece necesario durante algunos años. En estas condiciones, ¿cómo evitar que el CO₂ generado por el uso de estas energías no se diluya en la atmósfera? La captación y almacenamiento geológico del CO₂ constituyen una solución prometedora.

De las empresas a los consumidores: nuevas exigencias (gestión, estrategia, relaciones con el mercado y con los consumidores)*El ecodiseño, ¿es rentable para las empresas?**Matthieu Glachant*

Sondeos tras sondeos, los consumidores no cesan de proclamar sus preocupaciones ambientales pero en realidad, ¿concretizan esta preocupación en su comportamiento en materia de compras?

Las empresas ostentan voluntariamente su rendimiento y acciones ambientales pero, ¿tratan realmente de diseñar y promover productos "verdes"?

¿Cuál debe ser el papel de los poderes públicos teniendo en cuenta este contexto?

*La gestión del desarrollo sostenible en Lafarge**Olivier Luneau*

Líder mundial de los materiales de construcción, Lafarge es la única empresa de este sector que se encuentra en la lista 2008 de las 100 multinacionales más activas en materias de desarrollo sostenible. Desde hace varios años, Lafarge trata de conciliar eficacia industrial, creación de valor, respeto de los hombres y de las culturas, protección del medioambiente y economía de los recursos naturales y de la energía.

Ejemplo de ecodiseño en el sector agrícola, agroalimentario y agroindustrial: el polo de competitividad "AgriMip Innovation" en la región francesa de Midi-Pyrénées.*Hubert de Rochambeau, Thierry Veronese y Patrice Roché*

Los productos agrícolas deben responder a las necesidades de los consumidores (gusto y confianza en los productos y los procesos de producción) y a las aspiraciones de los ciudadanos (una agricultura y una industria responsables, respetuosas del medioambiente).

La ambición del polo AgriMip Innovation es crear una ingeniería de la innovación adaptada a esta situación, gracias a una herramienta de análisis original: las agrocadenas.

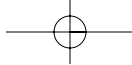
*Las empresas artesanales frente al ecodiseño y al desarrollo sostenible**Sophie Boutillier, Olivier Contant y Claude Fournier*

El concepto de ecodiseño que ha nacido en las grandes empresas, ¿puede transponerse a las empresas artesanales? El desarrollo de herramientas software de análisis ambiental (de tipo ciclo de vida, balance energético o huella ecológica) ha democratizado el acceso a los datos ambientales que en adelante están al alcance de las pequeñas empresas. Ahora bien, estas últimas ¿no integran ya el ecodiseño sin saberlo, tal como lo indica un estudio realizado en la región francesa del Norte – Pas de Calais?

*El ecodiseño, ¿un valor añadido para las empresas y una ventaja futura de competitividad?**Myriam Puaut*

Los retornos de experiencia lo demuestran: reconocer los impactos de un producto sobre el medioambiente, es darse los medios para reducirlos. Esta nueva mirada sobre el producto abre nuevas vías de mejoras técnicas o innovación. Es un motor adicional de creatividad que permite aumentar el valor añadido ambiental de un producto, diferenciarse de la competencia, incluso responder a nuevas expectativas del mercado.

El dossier ha sido coordinado por Marie-Josèphe Carrieu-Costa



НАШИМ ЧИТАТЕЛЯМ, ГОВОРЯЩИМ ПО-РУССКИ

Эко-концепция: новая промышленная экономика?

Редакционная статья
Пьер Кувэйзис

Предисловие: Эко-концепция: экономика экологии.
К новой промышленной социальной экономике
Мари-Жозефа Каррье-Коста

Эко-концепция является привилегированным инструментом для воплощения в жизнь долгосрочного развития, основанного на новых балансах. Оно прокладывает путь новой промышленной экономике, новой социальной экономике.

Инструменты, технология и методы

Эко-концепция: несколько вопросов к архитектуре
Паскаль Гонтье

Развитие архитектуры, основанной на принципе «пассивного здания», позволило существенно улучшить показатели в области отопления. Однако некоторые важнейшие экологические факторы, такие как естественное освещение или управление водными ресурсами и отходами, зачастую отодвигались на второй план. Кроме того, часть экономии от отопления компенсировалась ростом потребления других видов энергии, необходимых для вентиляции, освещения или кондиционирования.

Новое поколение зданий, построенных с соблюдением экологических требований, должно будет учитывать всех потребителей энергии в период их занятости, а также «серую» энергию, связанную с производством материалов и их использованием.

Эко-технологии в строительстве
Бруно Пепортье

Для оценки экологических последствий возведения зданий, включающих производство стройматериалов, собственно стройплощадку, процессы, связанные с использованием (как например отопление и потребление воды), а также снос, переработку и возможную утилизацию отходов, были созданы надлежащие инструменты. Они призваны помочь в принятии решений, и позволяют исследовать техническое новаторство в свете экологического качества.

К зданиям с положительной энергетикой
Жан-Кристоф Визье

С претворением в жизнь решений конференции «Гренель окружающей среды» здания должны постепенно перейти от статуса первых потребителей энергии в категорию ее производителей. Технические, экономические и социальные задачи подобной смены парадигмы представляются крайне важными.

Упаковки – окружающая среда: итог и перспективы
Шарль Тиссандье и Янник Кнапп

Влияние упаковок на окружающую среду всегда вызывает бурную реакцию общественного мнения. В последние годы был достигнут значительный прогресс благодаря простым логическим мерам и эволюции регламентации.

Будущее упаковок – в эко-концепции, включающей экологические последствия для всей цепочки логистики и всего срока жизни продукции. Это требует гораздо более совершенных инструментов анализа, находящихся сегодня на стадии развития.

Анализ цикла жизни и эко-концепция: ключи к новой химии

Сильвен Кайоль

Новаторские процессы в промышленности, и в частности в химической промышленности, претерпевают сегодня глубокие изменения. Отныне они должны включать эко-концепцию продукции или процесса. При таком подходе анализ цикла жизни (ACV) – инструмент, использовавшийся до недавнего времени для идентификации

экологических последствий, не является более достаточным. Сегодня необходим новый инструмент, интегрированный в процесс инновации – управление эко-концепцией, которое может использоваться малыми и средними предприятиями.

Энергетика и материалы: новый взгляд на вещи

Отходы – на пути к циклической экономике
Диана д'Аррас

Управление отходами, связанными с нашим образом жизни и демографическим ростом (в особенности в городах) отныне представляют собой подлинный вызов, который должно принять общество. Этот вызов становится еще более актуальным в свете целей, определенных конференцией «Гренель окружающей среды» и оперативных мер, которые она предусматривает для сокращения производства отходов и повышения уровня их утилизации.

Больше электроэнергии – меньше выбросов CO₂
Ив Бамберже

Эффективные в энергетическом плане решения уже существуют для различных категорий потребителей: строительство, промышленность, транспорт. Их приход на смену нынешним способам производства, основанным на ископаемых видах топлива, должно позволить значительно сократить выбросы CO₂. Действительно, благодаря гидравлике и атомной энергии большая часть электричества, вырабатываемого сегодня во Франции, не использует ископаемые виды топлива, и эта доля в будущем будет еще увеличиваться благодаря программе экономии энергии, а также ветряным установкам и прочим видам возобновляемой энергии.

Эко-концепция и возобновляемое сырье
Способность к биолузу: пример полимеров
Ален Копинне

Эко-концепция часто ссылается на понятие «способности к биолузу», но что означает этот термин?

Существует несколько видов естественных полимеров, произошедших из возобновляемых ресурсов, но как измерить их способность к биолузу? Каковы препятствия к развитию этих продуктов, какие меры помогут их преодолеть?

Улавливание и геологическое хранение CO₂: одно из решений для борьбы с климатическими изменениями
Жан-Мишель Жир

Использование ископаемых видов энергии представляется неизбежным в течение еще многих лет. Как в этих условиях избежать распространения в атмосфере CO₂, вырабатываемого в результате использования этих видов энергии? Улавливание и геологическое хранение CO₂ представляет собой перспективное решение.

От предприятий к потребителям: новые требования (менеджмент, стратегия, связи с рынком и потребителями)

Рентабельна ли эко-концепция для предприятий?
Матье Глашан

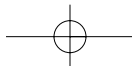
От опроса к опросу, потребители не перестают провозглашать свою экологическую озабоченность. Но конкретизируют ли они эту проблему в своем поведении при совершении покупок?

Предприятия охотно хвалятся своими достижениями в области охраны окружающей среды, но стремятся ли они к разработке и продвижению на рынок экологических продуктов?

В этом контексте – какова должна быть роль публичной власти?

Менеджмент долгосрочного развития на фирме Лафарж
Оливье Люно

Мировой лидер в области производства стройматериалов, Лафарж является единственным предприятием этого сектора, фигурирующим в



2008 году в списке 100 мультинациональных фирм, активно вступивших на путь долгосрочного развития. Уже много лет Лафарж старается совмещать промышленную эффективность, создание добавленной стоимости, уважение к людям и культурам, охрану окружающей среды и экономию естественных источников энергии.

Пример эко-концепции в сельскохозяйственной, агропищевой и агропромышленной областях: полюс конкурентоспособности «AgriMir Innovation» в регионе Юг-Пиреней

Юбер де Рошамбо, Тьерри Веронез и Патрис Роше

Сельскохозяйственная продукция должна отныне отвечать одновременно потребностям потребителей (вкусовые качества и доверие к качеству продукции и производственным процессам) и чаяниям гражданского общества (ответственные и экологически безопасные сельское хозяйство и агропищевая промышленность).

Полюс «AgriMir Innovation» стремится к созданию инжиниринга инноваций, адаптированного к этой ситуации, благодаря оригинальному инструменту анализа, которым являются агросети.

Ремесленные предприятия перед лицом эко-концепции и долгосрочного развития

Софи Бутийе, Оливье Контан и Клод Фурнье

Может ли эко-концепция, зародившаяся на крупных фирмах, быть использована на небольших ремесленных предприятиях? Развитие программных инструментов экологического анализа (типа цикла жизни, энергетического баланса или экологического влияния) демократизировало доступ к экологическим данным, которыми сегодня могут располагать также и малые предприятия. Но быть может, они уже освоили эко-концепцию, сами о том не подозревая, о чем свидетельствует исследование, проведенное на Севере – Па-де-Кале?

Эко-концепция: добавленная стоимость для предприятий и будущая задача повышения конкурентоспособности?

Мирьям Пюо

Возврат опыта свидетельствует: осознать влияние продукта на окружающую среду – означает найти средства сокращения этого влияния. Такой новый взгляд на продукцию открывает новые пути к техническому совершенствованию или новаторству. Это – дополнительный двигатель креативности, позволяющий увеличивать экологическую добавленную стоимость продукта, дифференцироваться от конкурентов, и даже отвечать новым ожиданиям рынка.

Координатор досье: Мари-Жозефа Каррье-Коста

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

recherches débats actions

SOMMAIRE

LES INFECTIONS ÉMERGENTES

ÉDITORIAL – *François VALÉRIAN*

AVANT-PROPOS : Les maladies infectieuses émergentes, un défi « global » –
Benoît LESAFFRE

Enjeux et état des lieux

Les Maladies émergentes : illusion ou réalité ? – *Yves COQUIN*
et *Jacques CHEMARDIN*

Les causes de l'émergence des agents infectieux – *Didier RAOULT*

Évolution des risques infectieux alimentaires – *Catherine BOUVIER-BLAIZOT*

Pouvoir des médias et crise sanitaire majeure –
Interview de Xavier EMMANUELLI

Le changement du climat peut-il avoir un effet sur les maladies infectieuses ? –
François RODHAIN

Connaissance, surveillance et alertes

Histoire et actualité du réseau international des Instituts Pasteur –
Maxime SCHWARTZ

La modélisation des épidémies de maladies émergentes : les exemples du
chikungunya et de la pandémie grippale – *Pierre-Yves BOËLLE*

Écosystèmes, entomologie et lutte anti-vectorielle – *Didier FONTENILLE*

Actions de terrain et leçons récentes

Chikungunya : retour sur une épidémie surprenante et sa gestion
Evelyne FALIP, Marie BÂVILLE, Bernard FALIU et Yves COQUIN

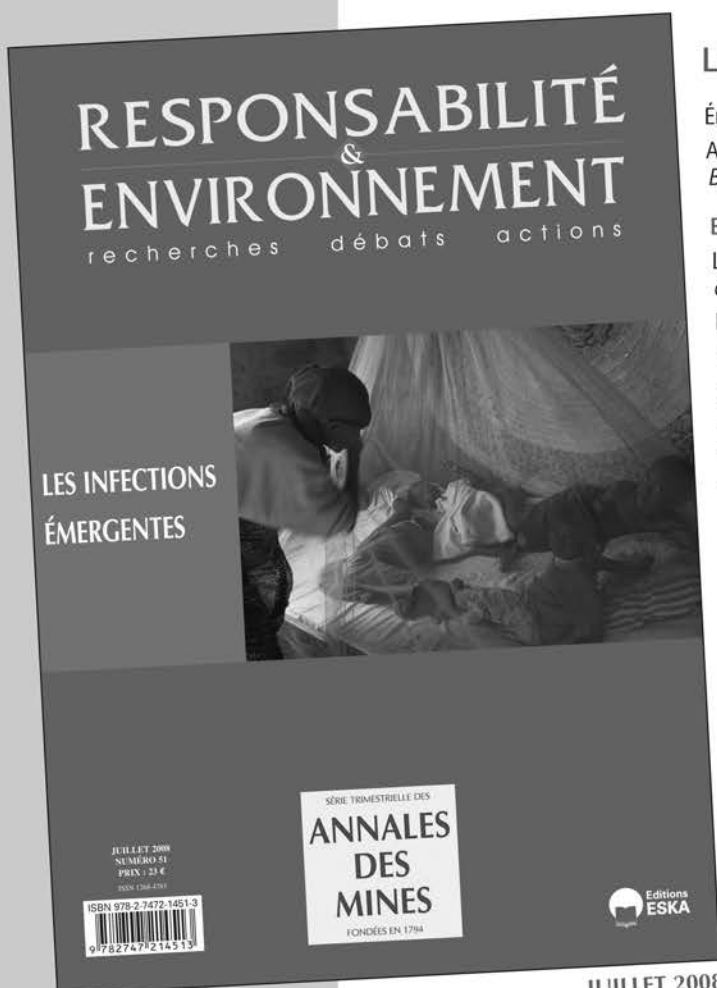
Épidémie de chikungunya dans l'Océan Indien 2005-2006. Premiers ensei-
gnements – *Antoine FLAHAULT*

Les maladies émergentes animales tropicales. Impacts inattendus de l'in-
fluenza aviaire – *Emmanuel CAMUS et Renaud LANCELOT*

Le règlement sanitaire international révisé – *Guénaël RODIER*

Le Plan de continuité d'activité « pandémie grippale » dans les organisa-
tions – *Laurence BRETON-KUENY et Docteur Sandrine SEGOVIA-KUENY*

Le dossier a été coordonné par Alain GRANDJEAN



JUILLET 2008
ISSN 1268-4783
ISBN 978-2-7472-1451-3

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Responsabilité & Environnement** juillet 2008 - numéro 51
(ISBN 978-2-7472-1451-3) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

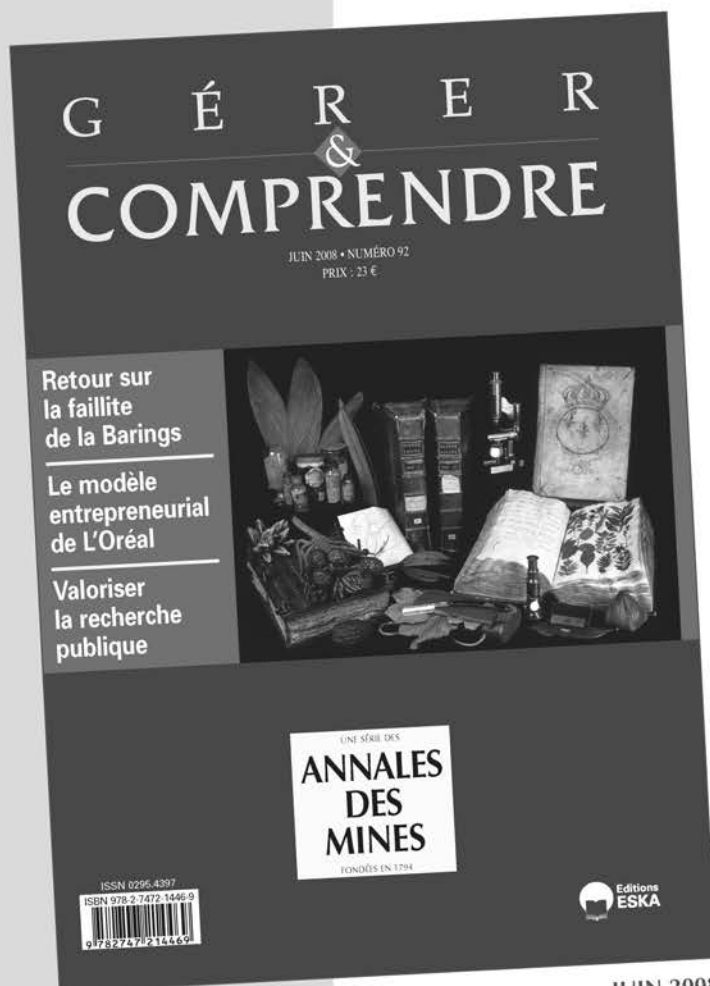
Code postal Ville

G É R & E R

COMPRENDRE

SOMMAIRE

- POUR UNE AUTRE THÉORIE DE LA DÉCISION :
RETOUR SUR LA FAILLITE DE LA BANQUE
BARINGS ET DE SA HIÉRARCHIE
Par Yves-Marie ABRAHAM et Cyrille SARDAIS
- LA GESTION DES SENIORS EN ENTREPRISE :
ENJEUX ET ESQUISSE DE SOLUTIONS
Par Olivier MEIER
- BATA : L'IMPOSSIBLE MUTATION
L'échec d'une stratégie de montée en gamme
Par Antony KUHN et Yves MOULIN
- LE MODÈLE ENTREPRENEURIAL DE L'ORÉAL :
SOURCE ET GENÈSE
Par Olivier BASSO, Alain FAYOLLE
et Thomas LEGRAIN
- RÉMUNÉRER LES TALENTS
Le salaire du sportif professionnel : exception
ou préfiguration ?
Par Pierre MIRALLES
- VALORISER LA RECHERCHE PUBLIQUE
Le rôle du facteur humain dans la vente
ou la cession de licences de brevets par
les universités
Par Dominique Philippe MARTIN et Lionel PUJOL
- Franck AGGERI
LA SINGULARITÉ D'UNE ŒUVRE
À propos du livre de Lucien Karpik, *L'Économie des sin-
gularités*, Paris, Gallimard, 2007



JUIN 2008
ISSN 0295.4397
ISBN 978-2-7472-1446-9

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de *Gérer & Comprendre* juin 2008 - numéro 92 (ISBN 978-2-7472-1446-9) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville