

# Le Facteur 4 : une évolution économique et sociale que nous sommes contraint de mettre en oeuvre

P. Matarasso

CIREC-CNRS-EHESS 45 avenue de la Belle Gabrielle 94736 Nogent sur Marne

**Résumé** — La division par 4 des émissions de gaz à effet de serre devra principalement s'appuyer sur l'augmentation de la productivité des services énergétiques finaux (habiter, se déplacer, se nourrir...). Cette évolution pourra aussi nous prémunir contre le « choc systémique » qui pourrait résulter de la « fin du pétrole bon marché ». Le passage à cette nouvelle organisation économique et sociale peut s'appuyer sur des technologies qui existent et elle paraît économiquement envisageable. A l'analyse il semble aussi que les conditions de vie qui en résulteraient seraient à tout point de vue meilleures qu'aujourd'hui.

## I. INTRODUCTION : LE « FACTEUR 4 » EST NECESSAIRE POUR EVITER UNE CRISE « SYSTEMIQUE »

Ce que l'on désigne habituellement par « facteur 4 » est la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre qui constituera la contribution à la stabilisation du climat des pays industrialisés. L'effort demandé aux pays en développement sera une division par 2 de leurs émissions. Cet effort plus faible se justifie par leur moindre contribution aux stocks de gaz à effet de serre déjà accumulés dans l'atmosphère d'une part et par la nécessité de leur laisser une marge plus importante dans leur marche vers le développement d'autre part. Ce double effort devrait permettre d'atteindre un niveau mondial d'émissions qui serait de l'ordre de ce que les grands cycles géochimiques permettent de recycler (vers 4 gigatonnes de carbone espèrent-on). L'humanité pourrait ainsi cohabiter avec l'ensemble de la biosphère, dans le cadre de la stabilité des milieux terrestres à long terme. Nous espérons tous que si ce chemin est pris assez rapidement les seuils dangereux pour les systèmes climatiques ne seront pas dépassés. Mais, de toute façon, les gaz accumulés du fait des émissions passées, au moment de la stabilisation, lesquels correspondront vraisemblablement à une concentration supérieure à 500 ppm de CO<sub>2</sub> mettront plusieurs siècles à disparaître par réabsorption. De ce fait le Changement Climatique lui même est déjà avéré et nous pouvons seulement espérer en limiter les conséquences: évènements extrêmes, retrait des lignes de côtes, pertes de biodiversité...

Mais si le facteur 4 est nécessaire, ce n'est pas uniquement parce que le changement climatique menace, c'est aussi parce qu'à cette menace s'en ajoute une autre qui nous promet un avenir difficile. Cette seconde menace est liée à une seconde limite géophysique qui vient s'ajouter à celle de l'accumulation des gaz à effet de serre. Cette seconde menace c'est « la fin du pétrole bon marché » qui se résume aussi par le terme de « peak-oil », le moment où la

production pétrolière mondiale va commencer à décroître<sup>1</sup>. Supposons un instant que, pour un ensemble de raisons (attente de meilleures technologies, espérances dans le « geoengineering », inertie des comportements...), les efforts pour limiter les émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial restent faibles. Les consommations d'énergie fossiles vont alors continuer à augmenter dans les pays industriels comme dans les pays en développement. Compte tenu de la croissance économique et démographique soutenue de ces derniers, la croissance de la demande de carburants fossiles sera rapide. La conséquence est que le sommet absolu de la production pétrolière (le « Peak Oil ») sera atteint de manière plus précoce et surtout plus brutale. La croissance économique continuera d'être soutenue et consommatrice de carburant, la décroissance de la production de pétrole et de gaz en sera d'autant plus rapide. Les paramètres relatifs aux découvertes de nouveaux gisements comme au taux final d'extraction sont mal connus et à moins de surprises (gisements géants vers les pôles par exemples), les alternatives (« coal to gas » et « coal to liquid » n'auront pas été préparées à une échelle suffisante). On peut donc s'attendre à ce que dans ces conditions, les prix de l'énergie et plus particulièrement du pétrole et du gaz croissent rapidement. Si c'est le cas tous les pays fortement dépendants des hydrocarbures importés (Chine, Inde, Europe, USA.....) vont voir leurs balances du commerce extérieur se dégrader rapidement de manière croissante et pour longtemps (une dizaine d'années au minimum).

Nul ne sait comment évoluera, dans ce cas de figure, l'économie mondiale (en particulier en raison de l'incertitude sur l'évolution des taux de change). Mais il est assez probable que les pays dépendants tenteront d'équilibrer la situation en accroissant leurs exportations, s'ils le peuvent. Si cela se produit on peut s'attendre à une concurrence acharnée sur le marché international pour les exportations de biens manufacturés, les services, les biens d'équipement, etc. Les grands pays en développement (Chine, Inde, Brésil), qui s'appuient sur des marchés intérieurs gigantesques pour toutes les productions susceptibles d'être exportées et dont, d'autre part, la transition rurale/industrielle n'est pas achevée posséderont probablement des avantages importants dans cette bataille. Les pays européens sont face au risque de ne plus pouvoir exporter suffisamment et de voir les industries d'exportations se délocaliser aussi vite qu'elles sont créées. On

<sup>1</sup> Il faut impérativement faire remarquer que si la « fin du pétrole bon marché » et le « peak oil » constituent des dangers économiques, ils n'impliquent pas une limite physique aux émissions. Il existe en effet des réserves importantes de charbon qui feront tourner les centrales électriques et permettront la production de fuel synthétique (par la synthèse Fischer Tropsch) pour plus de 100 années au prix d'une destruction définitive des équilibres géochimiques de la planète.

imagine la pression sur les salaires qui pourrait en résulter. En parallèle, les charges d'énergie des ménages et des entreprises croîtront. Il existe peut être des solutions d'endettement comparables à celles que les USA mettent en oeuvre en cas de choc énergétique, comme aujourd'hui. Mais sont elles durables? Il faut souligner que dans une telle situation, la temporalité des phénomènes nous échappera, autant celle de l'épuisement des ressources géologiques que celle de la mise en place de substituts (exploitation de pétroles non conventionnels, filière « coal to liquid », solutions par ailleurs très polluantes en CO2). Les défaillances des ménages et des entreprises endettées sont susceptibles d'accroître la crise dans tous les pays. L'un dans l'autre, cette nouvelle crise pétrolière pourrait avoir des conséquences de long terme beaucoup plus sérieuses que celle de 1973. C'est ce que l'on appelle un « risque systémique » ! Que serait une société où il existe un rationnement énergétique et une compétition infernale féroce ?

## II. HEUREUSEMENT, LA CRISE PEUT-ETRE EVITEE

Pour diviser les émissions de gaz à effet de serre par un « facteur 4 » il existe des solutions. Celles-ci combinent deux moyens d'action dans diverses proportions :

- ☒ **Réduire ou supprimer totalement les émissions liées aux productions d'énergies primaires** (renouvelables, nucléaires, captures et séquestration du CO2,.....).
- ☒ **Améliorer radicalement les performances énergétiques de la production des services énergétiques finaux** (transports, bâtiments, matériaux, produits manufacturés, alimentation...).

Il apparaît qu'une combinaison qui privilégierait principalement le second type de moyens (les « négawatts ») par rapport au premiers (les mégawatts) est aujourd'hui pleinement justifiée parce que :

- ☒ Toutes les formes de production d'énergie primaire possèdent des inconvénients environnementaux souvent graves (paysages, déchets nucléaires, incertitude sur la séquestration à très grande échelle...).
- ☒ L'amélioration de la productivité des services finaux par rapport à l'énergie est, en général, bien moins coûteuse que la production d'énergies primaires ; dans certains cas on peut économiser 4 kilowatt pour le coût de l'investissement de la production et de la distribution d'un kilowatt (que l'on parle d'électricité ou de carburant).
- ☒ Par ailleurs produire des services aux meilleurs coûts énergétiques est essentiel pour la période où l'énergie sera tirée des flux naturels (solaire, vent, biomasse).

Il apparaît donc, à l'analyse, que le passage au facteur 4 pourrait se faire en agissant principalement sur les consommations dévolues aux services énergétiques finaux.

Ceci pourrait se faire sans pratiquement aucune réduction ni des surfaces habitables, ni de la mobilité, ni de l'alimentation. Il existe cependant une exception à cette affirmation, c'est celle qui concerne les transports aériens, très fortement générateurs de gaz à effet de serre, pour lesquels aucune alternative véritablement économique n'est pour l'instant envisagée.

Affirmer ce qui précède ne signifie pas que la frugalité énergétique soit sans utilité. Bien au contraire. Se montrer plus mesuré aujourd'hui dans toutes les consommations qui impliquent des dépenses d'énergie ne peut que constituer un bon exemple au niveau mondial et surtout permettre une stabilisation plus rapide du climat.

## III. LA QUESTION DES BATIMENTS : REHABILITATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS EXISTANTS.

Le renouvellement du parc des bâtiments français est très lent. On ne peut donc pas espérer réduire de manière importante les émissions de gaz à effet de serre en comptant uniquement sur une réglementation rigoureuse s'appliquant aux les bâtiments neufs. Heureusement, de nombreuses études montrent que la réhabilitation énergétique des bâtiments anciens est à même d'atteindre des consommations très faibles, de l'ordre de 50 kWh par an et par mètre carré, ce qui est le quart des consommations courantes (qui oscillent entre 150 et 300 kWh par m2). Ce résultat peut être obtenu en combinant les mesures suivantes :

- ☒ isolations intérieures ou extérieures du bâtiment ;
- ☒ reprise des ouvertures par des fenêtres à coefficients de déperdition faible ;
- ☒ ventilation contrôlée, double flux, permettant la récupération de calories (ou de frigories) sur l'air extrait ;
- ☒ utilisation pour le chauffage et la climatisation de pompes à chaleur géothermales réversibles.

Il est aujourd'hui possible de mettre en oeuvre ces technologies dans des conditions beaucoup plus aisées et moins coûteuses que par le passé. En particulier en utilisant des programmes informatiques permettant d'optimiser les performances thermiques des bâtiments par la rénovation tout en développant l'habitabilité. Il est possible de concevoir la réhabilitation énergétique dans le cadre d'une forme de « sur mesure industriel » qui est déjà mise en oeuvre dans l'industrie du remplacement des fenêtres. Ceci invite à la naissance d'une nouvelle pratique industrielle que l'on pourrait baptiser « réhabilitation thermique assistée par ordinateur » dont nous allons nous essayer à détailler ici les étapes :

1. Dans une première étape il s'agit de réaliser un état des lieux. En particulier il est nécessaire d'effectuer un diagnostic thermique du bâtiment et de faire un bilan des ressources énergétiques disponibles sur le site (soleil, vent, nappes géothermale...), des conditions climatiques locales et des charges énergétiques demandées.
2. Dans un second temps on s'interrogera sur l'échelle

des projets à envisager en examinant de possibles effets d'échelle et de série. Il est avantageux par exemple de chercher un projet regroupant les différentes maisons d'un lotissement, surtout si elles sont de même type. Les différents appartements d'un immeuble, les différents immeubles d'un quartier... Ce regroupement permet d'envisager des opérations de cogénération d'une échelle raisonnable, des chaudières à biomasse, des réseaux de chaleur... et de bénéficier d'une commande en nombre pour les composants de la réhabilitation fenêtres, ventilation, isolants...).

3. La formulation du projet est l'étape la plus critique, même si le projet est relativement peu intégré, il est nécessaire d'optimiser les divers éléments du projet (nature et degré de l'isolation, renouvellement d'air, dimensionnement des cogénérateurs, chaudières à biomasse, stockage thermique, etc.). Il faut ensuite après l'optimisation, qui a pris en compte les aspects temporels des fournitures d'énergie et de la demande de confort et d'énergie, s'assurer par une simulation que l'on ne se trouve pas dans des périodes où le confort ne peut être assuré. Ces étapes réclament des modélisations qui soient à la fois approfondies et standardisées pour être à la portée des opérateurs. Il en est de même pour toute la métrologie qui permet le diagnostic ou plus tard la régulation des flux énergétiques dans le projet réalisé. Ces outils sont encore en phase de recherche.
4. A partir de ce qui précède on concevra un projet architectural qui est susceptible de correspondre à un remaniement assez profond de l'aménagement local (nous reviendrons sur les éléments économiques qui justifient ce point). En particulier le projet peut se traduire par des extensions de la surface des bâtiments, la construction de bâtiments entre ceux qui existent, la surélévation d'un ou deux étages de bâtiments bas...).
5. Selon le principe déjà mis en oeuvre pour le changement des fenêtres, une partie importante des composants de la rénovation est fabriqué « sur mesure ».
6. Réalisation des travaux et vérification des performances.
7. Les travaux réalisés, on enseigne aux habitants les principes d'une gestion de l'énergie liée aux conditions climatiques avec l'aide d'une centrale de contrôle dans le bâtiment.

Ce schéma de travail est en partie réaliste et en partie théorique. Deux étapes cruciales de ces rénovations supposent une compétence élevée des acteurs relais que sont les architectes/bureaux d'étude d'une part, les artisans de la rénovation d'autre part. Les connaissances ne sont pas encore à la portée de ces acteurs relais, il reste un travail de recherche important pour disposer des bons outils et les mettre à disposition des acteurs. Les outils de diagnostic et de modélisation, par exemple, qui seront nécessaires à la conception de projets véritablement intégrés font encore défaut. Les professions de la rénovation (maçon, plombier, ventilation, couvreur...) sont à la fois trop peu intégrées et

disposent d'une compétence encore insuffisante pour mettre en oeuvre les composants les plus technologiquement avancés des projets (super isolants, ventilation double flux, pompes à chaleur...). Le potentiel de la profession est aussi insuffisant par rapport à l'ampleur des flux de bâtiments à rénover (400.000 par an). Il serait bon que ce programme débute aussi vite que possible, mais il importe que les rénovations soient mises en oeuvre avec des critères exigeants. Les rénovations qui ne seraient pas sérieusement réalisées représenteraient une « perte de gisement ». Aujourd'hui les grands industriels du bâtiment réclament la mise en place des réglementations les plus sévères pour assurer une industrialisation rapide et une baisse des coûts qui éviterait ces pertes de gisement. Mais bien ceci soit dans le sens de l'intérêt général (à la fois du point de vue économique et du point de vue climatique) la mesure est difficile à faire passer politiquement.

Il faut préciser qu'une réhabilitation énergétique, qui s'accompagnerait d'une extension en superficie des bâtiments, par construction de bâtiments contigus entre les bâtiments existants dans les zones peu denses, de surélévation d'un ou deux étages dans les périphéries des villes, permettrait de « créer du foncier ». La vente et la location de ces nouveaux espaces permettraient d'équilibrer le budget des rénovations énergétiques. Cela irait aussi dans le sens d'une réduction de la crise foncière actuelle. Enfin on pourrait de la sorte densifier des parties intermédiaire entre la ville et la campagne que l'on pourrait rendre accessibles aux transports en commun et où il serait possible de créer des emplois et des services. Un tel chantier créerait de très nombreux emplois qualifiés et créatifs et peut constituer une perspective enthousiasmante de reprise de nos cadres de vie... à condition que cela se fasse dans le cadre d'une adhésion de la population et sans affairisme. Ce qui n'est en rien évident.

#### IV. DES TRANSPORTS DE PERSONNES TRES FLEXIBLES.

Nous venons d'évoquer la densification des zones périurbaines qui va dans le sens d'une meilleure desserte par les transports en commun et d'une limitation de l'usage des véhicules particuliers. L'un des principaux problèmes posés par les transports de personnes est l'utilisation de véhicules particuliers surdimensionnés par rapport à leur utilisation. Il existe dans les transports un effet d'échelle bien connu. Pour les transports terrestres les réductions des consommations par km.passagers, compatibles avec les transports en commun, permettent très largement d'atteindre le facteur 4 par rapports aux véhicules individuels. Les véhicules individuels sont d'une part sous utilisés, leurs taux d'occupation restent faibles, leur durée d'utilisation annuelle excède rarement 1000 heures (sauf pour les taxis, bien sûr), et enfin leurs caractéristiques (poids total, motorisation, sécurité) sont conçu pour rouler à 150 km/h sur autoroute alors que, dans les faits, ils sont majoritairement utilisés à des vitesses plus faibles et sur de courtes distances. Oui mais, dira-t-on, ils possèdent une disponibilité et une

flexibilité d'usage inégalée (pour aller en vacances... ou chercher les enfants à l'école). Remarquons seulement que cette disponibilité est toute théorique. Car d'une part, des pays densément peuplés (l'Inde qui fait à peu près 6 fois la France en surface pour une population bientôt égale à 20 fois la population française) ne pourront suivre le même chemin. D'autre part une généralisation de la motorisation au niveau des USA provoquerait, en France même, des encombrements rédhibitoires. Enfin pour les USA justement, où le prix du carburant n'est pas taxé et où son augmentation est presque immédiatement répercutée sur le prix de vente, le doublement des prix pétroliers impactera durement les budgets des ménages pauvres. Actuellement aux USA, la non solvabilité des ménages se développe de façon alarmante avec l'augmentation des prix du pétrole.

#### V. UN CHANGEMENT DE MODELE EST DONC A L'ORDRE DU JOUR.

La question n'est donc pas de savoir si le véhicule personnel est négociable ou pas, mais comment il serait possible de fournir un service équivalent (ou meilleur) avec une productivité accrue en termes énergétiques. Remarquons en premier lieu qu'il est probable qu'un transfert de 10% des transports en communs vers les véhicules individuels aurait des conséquences désastreuses en termes de congestion... alors qu'un transfert identique dans l'autre sens aurait des conséquences très bénéfiques<sup>2</sup>. Cette asymétrie montre à elle seule dans quelle direction les politiques publiques doivent se porter. Les partisans de la non « négociabilité » du véhicule personnel (et non « individuel »)<sup>3</sup> comme nous allons le voir feraient bien d'y réfléchir. Pour des flux très importants, les transports en commun classiques comme le RER, le train, le tramway pour la surface restent des solutions absolument incontournables.

Mais il reste des distances intermédiaires (gare, domicile, courses, accès services...) pour lesquels ces moyens de transports de « trajets fixes » et de grands flux ne sont pas adaptés. Les trajets sur ces distances intermédiaires sont, par définition très variables, dans la journée, dans la semaine, sur l'année. Les technologies modernes permettent aujourd'hui de concevoir des moyens de transports flexibles qui s'adaptent à cette demande. Une flotte bien conçue de microbus (s'étageant de 10 à 30 places) dont les trajets sont susceptibles de varier en fonction des heures de la journée, des jours de l'année et de la nature des demandes peuvent assurer des dessertes qui se rapprochent du porte à porte<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Le problème étant de faire qu'un transfert vers les transports en commun soit durable... dès que la circulation s'améliore les automobilistes reprennent leur voiture... c'est l'effet rebond !

<sup>3</sup> Nous distinguerons le véhicule personnel dont on suppose qu'il est possédé par une personne (morale ou physique) du véhicule individuel qui appartient à une entreprise qui fournit un service de transport individuel.

<sup>4</sup> Il est paradoxal, à l'heure du GPS, du wifi et des immenses puissances de calcul dont nous disposons que cette forme de flexibilité ne soit pas mise en œuvre. Si la relative rigidité du tramway se justifie entièrement pour s'approcher des performances en flux des métros ou trains souterrains, des bus flexibles seraient une innovation bienvenue. Qui n'a pas demandé à un bus d'aéroport de le laisser au plus près de chez lui ?

L'exemple des navettes d'aéroport qui actuellement possèdent un point de départ variable (les hôtels d'un quartier) et un point d'arrivée fixe (l'aéroport) ou l'inverse, donne une idée du genre de service dont on a besoin. Des transports depuis les gares ou des transports d'entreprises de ce type peuvent dans un premier temps limiter déjà l'utilisation de véhicules individuels. Rappelons tout de même les bus de ramassage scolaire ou aujourd'hui la pratique du « pédibus »<sup>5</sup>. L'utilisation conjointe des GPS, de téléphones portables par lequel on signale le trajet désiré, d'une gestion globale des véhicules adaptée à ces demandes (gestion comparable à celle des taxis) permettrait une flexibilité plus grande encore. Très généralement, l'annonce préalable par téléphone portable des déplacements souhaités par les personnes (et des contraintes des passagers: voitures d'enfants, handicaps...) permettrait de gérer les flottes de véhicules aux plus près de leurs possibilités pour obtenir des ramassages et déposes optimales. Enfin des micro véhicules en « libre service » dont le cahier des charge n'implique pas des vitesses supérieures à 40 km/h qui seraient dotés, dans un premier temps, de nombreuses aides à la conduite (GPS, détection des véhicules proches, détection des obstacles...) pourraient assurer un véritable porte à porte<sup>6</sup>. Cela sera encore plus vrai dans un second temps lorsque ces véhicules seront devenus des « cybercars » à part entière, c'est à dire disposant d'une conduite totalement automatisée et pouvant se rendre de manière autonome là où l'on a besoin d'eux. L'avantage des cybercars pour des véhicules en libre service tient à ce qu'ils peuvent d'eux même se repositionner là où il sont nécessaires.<sup>7</sup>

Il n'est pas inutile de faire remarquer que l'ensemble des véhicules de ces flottes flexibles est susceptible d'avoir des durées annuelles de fonctionnement qui dépassent 3000 heures. C'est un taux d'utilisation qui est quatre fois supérieur à celui de véhicules particuliers. Cette situation est très favorable à la mise en œuvre des technologies nouvelles et plus coûteuse que le classique moteur à explosion. Les technologies hydrogènes par exemple sont envisageable dans ce cadre, alors que ces mêmes technologies seraient bien trop coûteuses pour être installées sur des véhicules particuliers lourds et ne fonctionnant que 700 heures par an. Par ailleurs alimenter en hydrogène des véhicules de transport collectif ou des cybercar ne réclame pas du tout les mêmes infrastructures que s'il faut convertir toutes les stations services. Enfin l'utilisation de l'hydrogène pour des

<sup>5</sup> Un « pédibus » est un convoi d'enfant à pied (accompagné d'un adulte) qui rejoint l'école collectivement et qui va chercher ou déposer les enfants comme le ferait un bus. Il apparaît que les résultats scolaires sont améliorés par l'activité qui précède la classe. Cela n'est possible que sur de courtes distances, mais pourrait être assisté par des bus.

<sup>6</sup> Il faut insister sur les « cercles vertueux » que permettent ces solutions. 40km/h est une vitesse très suffisante pour traverser une grande ville ou même rallier une banlieue depuis une autre banlieue. Cette vitesse permet un allègement du véhicule du fait de moindres contraintes de sécurité qu'un véhicule plus rapide. Le poids et la vitesse sont compatibles avec des propulsions électriques d'un rayon d'action suffisant. Le signalement de la position des véhicules permet la gestion du trafic et évite collision et carambolage...

<sup>7</sup> Les véhicules automatiques ne sont pas une utopie, il existe déjà de nombreux prototypes réalisés notamment à l'INRIA.

véhicules qui ne dépassent pas 40 km/h et sont très sécurisés en matière de détection des obstacles est plus raisonnable que pour alimenter un bolide qui fonce à 180 km/h sur autoroute !

Sera-t-il possible d'atteindre le facteur 4 par ces moyens? A défaut d'une modélisation complète, on peut donner les indications suivantes. Le transfert de trafic depuis les voitures particulières vers les transports en commun correspondra de manière vraisemblable à l'ordre de grandeur du facteur 4. Les bus flexibles et les micro-véhicules pourraient correspondre à un facteur 2 au minimum (compte tenu des taux d'occupation, retour à vide...) par rapport aux véhicules particuliers. Si l'ensemble de ces mesures correspond globalement à un facteur 2, il suffit de produire la moitié du carburant (le quart de la consommation actuelle donc) à partir de la biomasse pour atteindre le facteur 4. Si nous consommons environ 50 millions de tonnes de carburant pour les transports, en produire entre 10 et 15 millions de tonnes réclamerait environ 10 millions d'hectares de surface agricole ou de forêts qui peuvent être dégagés par une structure différente de la consommation alimentaire comme nous allons le voir au paragraphe qui suit. Au total on perçoit bien que l'on pourrait atteindre le facteur 4 sans restreindre la mobilité.

## VI. LA QUESTION DE L'ALIMENTATION.

Lorsqu'il est question de l'alimentation on fait souvent référence aux émissions de l'agriculture, qui restent faibles. Mais le poste de l'alimentation, s'il est pris en compte avec un angle de vue impliquant des analyses de cycle de vie, correspond à des émissions beaucoup plus importantes. En effet en plus des émissions de gaz à effet de serre propres à l'agriculture, il faut prendre en compte celle de l'ensemble de l'industrie agro-alimentaire et des transports qu'elle induit. Il faut aussi prendre en compte les émissions des surfaces de ventes qui impliquent de comptabiliser le chauffage et la climatisation des hypermarchés, les armoires frigorifiques pour la conservation des produits demi frais et des surgelés. Il y a également les conservations et cuissons à domicile et bien entendu les trajets liés à l'approvisionnement alimentaire (trajets domicile/supermarché). Enfin les nombreuses questions liées aux déchets tout au long de la chaîne de production de biens alimentaires (depuis les déchets à la production comme les déjections animales jusqu'au recyclage des emballages). Il faut à ce propos souligner la grande inefficacité énergétique structurelle de la chaîne agro-alimentaire, et ceci en dépit des efforts réels et souvent importants des industriels pour améliorer l'efficacité des procédés.

Dans le marché des produits frais d'abord il existe, en raison de la standardisation des productions, des rebuts non négligeables à la production. Ceux-ci peuvent être, dans certains cas, valorisés par des productions secondaires (sauces, confitures, yaourt aux fruits...), mais les difficultés pratiques de la collecte des rebuts, qui par nature sont diffus,

peut dissuader ces valorisations. A cela il faut ajouter toutes les variétés d'inventus et de destructions liées aux stabilisations des prix des marchés agricoles. Enfin il faut comptabiliser les rebuts des grandes surfaces liés aux divers avatars de conservation et d'emballage des fruits et légumes. Des problèmes de même ordre existent pour le demi frais, avec les inventus à la date limite. Non seulement il y a là des déchets dont il faut se débarrasser mais ces produits qui ont nécessité des terres, des engrais, de l'eau, du transport, des transformations ou des emballages... pour ne pas être consommés, augmentent les coûts énergétiques unitaires ou les émissions de ce qui est effectivement consommé. Chaque industrie limite ses propres pertes, mais la chaîne est dans l'ensemble peu efficace. Ceci se traduit souvent par un facteur 5 à 10 entre les prix des produits achetés aux agriculteurs et les prix de vente au détail. Lorsque l'on analyse les émissions relatives à une pomme, un steak, un produit surgelé toute la chaîne d'une part...et toutes les pertes doivent être prises en compte. Il est extrêmement clair que des circuits courts entre la production et la consommation permettent d'éviter les pertes physiques d'une part, mais aussi toutes les pertes liées aux dysfonctionnements du marché (destruction pour stabilisation des prix).

Une autre grande source d'inefficacité se trouve dans ce que l'on pourrait baptiser le « service alimentaire rendu » et qui est lié à des habitudes diététiques inadéquates. Plus précisément, le lait de soja, les yaourts de soja ou des steaks de protéines végétales réclament des superficies en hectares de quatre à 10 fois inférieures à celles qui sont nécessaires avec les filières animales<sup>8</sup>. Cette réduction des superficies nécessaires à la production de aliments protéiques nécessaire à l'alimentation se traduit par des économies d'eau d'irrigation, la réduction des pollutions par les nitrates des nappes phréatiques, l'absence de rejets polluants des élevages... Au total donc des rejets de CO<sub>2</sub> inférieurs. Les avantages diététiques de ces sources protéiques sont par ailleurs bien connus, absence de cholestérol, faibles contaminations par les pesticides et les antibiotiques, pas de risque de pandémies transmissibles (gripes aviaires, vache folle,...). Une bénédiction en terme de santé publique et d'environnement. Les habitudes prises de rations surdimensionnées de protéine animales et les conséquences néfastes qu'elles entraînent sauront, espéreront le, convaincre que c'est un plus et non une punition de changer le régime alimentaire. Au total, la distribution de produits frais par des circuits courts d'une part, la réduction de la consommation de viande et de produits laitiers au profit d'équivalents végétaux suffiront certainement à assurer le « facteur 4 » dans le domaine des productions alimentaires.

<sup>8</sup> Beaucoup objecteront au remplacement des produits animaux par les produits protéique végétale au nom de la santé et au nom du goût. Au nom du goût il faut remarquer que tout ce qui vient du soja est déjà largement distribué et apprécié par les consommateurs, les entreprises qui les produisent semblent satisfaites de leur marge. Sur le plan diététique la réduction de consommation de la viande et des produits laitiers est favorable en terme de santé publique (pas de cholestérolémie).

## VII. LES PRODUITS MANUFACTURES.

Dans le domaine des produits manufacturés, les principales manières de limiter les émissions seront :

- La généralisation des analyses de cycles de vies.
- La réduction de la « build in obsolescence ».
- L'utilisation généralisée de produits d'origines végétales et la « chimie verte ».

La généralisation de l'analyse de cycle de vie est déjà en cours. La mise en place de bases de données coopératives sur ces questions constituera un outil précieux. Il reste cependant à définir des procédures qui permettent de prendre en compte les aspects systémiques de la production de biens et services pour définir des rationalisations des productions. Il est en effet nécessaire de dépasser les efforts déjà en cours des différents secteurs industriels pour réduire leurs émissions par des analyses systémiques relatives aux productions complexes. Les programmes de conception assistée par ordinateur, déjà généralisé dans les industries de pointes comme l'aéronautique mais aussi dans les industries automobiles permettent, à partir de cahier des charges portant sur la mécanique, la thermique, la durée de vie... de produire des biens respectant ces cahiers des charges en limitant les émissions. Cela pourra aussi se faire pour les textiles, etc.

La réduction de l'obsolescence programmée passe par une prise en compte réglementaire, pour l'instant difficile à mettre en œuvre, des taux de pannes des différents composants d'un produit. En plus de cette obsolescence, il existe aussi aujourd'hui une obsolescence due au progrès technique que l'on a tendance à valoriser car elle nous apporte presque tous les jours des fonctionnalités supplémentaires. Cela est particulièrement vrai pour tout ce qui concerne les technologies de l'information et de la communication. Observons toutefois qu'il est envisageable que certains produits atteignent finalement un seuil de maturité au delà desquels leur structure se stabilisera, comme cela s'est produit dans le passé pour les appareils photos, ou même l'automobile. Il est probable que cela finira par arriver pour les ordinateurs, les téléphones portables, les consoles de jeux, les baladeurs. Lors de ces stabilisations, l'innovation n'apporte plus que des améliorations marginales. Nous n'en sommes peut-être pas très loin pour l'informatique domestique où les machines récentes possèdent des puissances qui outrepassent les besoins les plus exigeant comme la vidéo, les jeux de simulation et a fortiori la bureautique. Les standards qui sont amenés à se perpétuer (vidéo HD,...) sont amenés à se perpétuer et donc les produits pourraient connaître des « turnovers » moins importants.

Pour ce qui concerne les meubles, les vêtements, des productions qui se basent sur des produits forestiers et agricoles doivent être envisagées. Remarquons que des meubles durables représente du carbone stocké... et qu'il n'est pas évident qu'ils n'assurent pas un service et un plaisir supérieur aux meubles jetables !

## VIII. CONCLUSION.

Réduire les émissions d'un facteur 4 semble, au final, presque possible à partir d'une amélioration systématique de l'efficacité énergétique de tous les services rendus (habiter, se déplacer, se nourrir, se vêtir...). Et toute cette évolution paraît, de fait, induire de meilleures conditions de vie :

- se dégager de certaines contraintes de la mondialisation ;
- réduire la crise du logement ;
- avoir des logements plus confortables ;
- créer des emplois qualifiés et intéressants ;
- réduire le stress et la pollution en ville ;
- réduire les accidents dus aux transports ;
- avoir une alimentation plus saine (moins de cholestérol, moins de pesticides absorbés...)...

Il faut observer que les industriels du bâtiment d'un côté, ceux de l'agro-alimentaire de l'autre ont partiellement abordé la transition. Il en est de même pour les collectivités territoriales et les grands acteurs du transport public. Les industriels de l'automobile peinent à envisager leur reconversion, mais la pression qui résultera de la concurrence internationale et de la définition, par les grands pays en développement, de solutions adaptées à leurs territoires les y contraindra tôt ou tard. Les individus, les citoyens inventent aussi des nouvelles pratiques, comme la distribution d'aliments par des circuits courts, les pédibus.... Nous pourrions observer que si la première révolution industrielle a consisté à substituer du travail humain par des machines et de l'énergie... ce qui est à l'origine des pollutions actuelles, une nouvelle révolution industrielle nous attend où il faudra substituer l'énergie par de l'information. Si la première révolution a été une révolution de l'augmentation de la productivité du travail humain, la seconde sera liée à une augmentation de la productivité par rapport à l'énergie... bien plus qu'à l'émergence improbable de sources d'énergies bon marché et inépuisables. Ajoutons que des sources d'énergies bon marché et inépuisables injectée dans un système partiellement fermé comme la planète Terre augmenterait l'entropie de l'écosystème humain... ce qui peut-être aboutirait à des sociétés encore plus chaotiques que celles que nous connaissons.

## BIBLIOGRAPHIE.

- [1] Christian de Boissieu, 2006 : Déficit Climat pour la France, *Rapport du Groupe de travail « Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 »* sous la présidence de Christian de Boissieu : [http://www.industrie.gouv.fr/energie/prospect/f1e\\_pros.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/prospect/f1e_pros.htm)
- [2] Patrick Criqui LEPII, 2007 *Les trajectoires « facteur 4 »*, présentation aux Rendez Vous Climat 2007, Mission Interministérielle à l'Effet de Serre. <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/fr/actions/presentation.htm>
- [3] Pierre Radanne, 2004 *La division par 4 des émissions de gaz carbonique en France* : <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/fr/etudes/etudes.htm>
- [4] Jonh Hawksworth : The world in 2050 PricewaterhouseCoopers, september 2006 : [http://www.pwc.fr/the\\_world\\_in\\_2050.html](http://www.pwc.fr/the_world_in_2050.html)