

**La Jaune et La rouge 2007 :
CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT**

**La dématérialisation de l'économie :
mythe ou réalité ?**

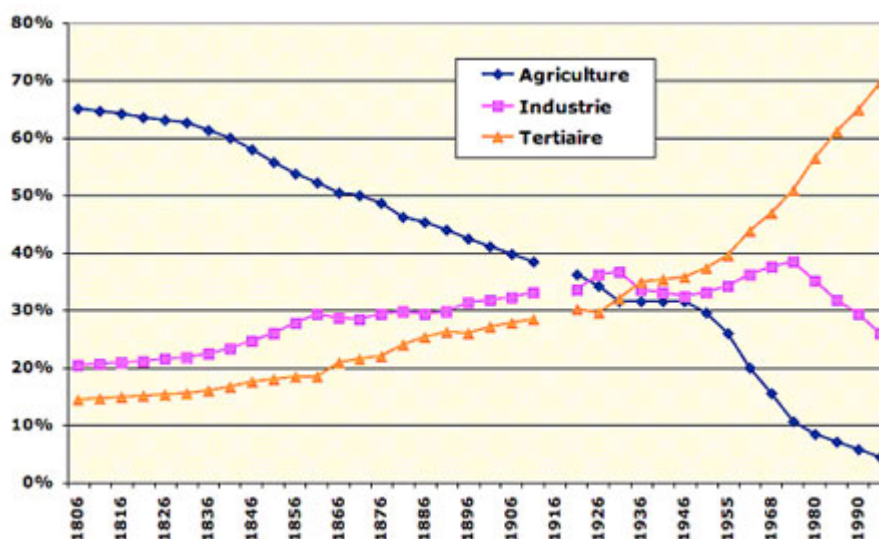
**Jean-Marc Jancovici, Président du
groupe X-Environnement**

NB : les propos tenus ici n'engagent en rien le groupe X-Environnement, dont il faut rappeler que, statutairement, il ne peut avoir aucune prise de position publique au nom de tout ou partie de la communauté polytechnicienne.

Soit un PIB dont nous voulons qu'il continue à croître. Soient des ressources dont nous voulons que la consommation annuelle se mette à décroître - ou dont la consommation annuelle va décroître, que cela nous plaise ou pas.(1) Soit une histoire économique des deux derniers siècles qui montre que l'augmentation du PIB par habitant, dans tous les pays du monde ou à peu près, se traduit depuis des décennies par une augmentation de la consommation d'énergie, de sol, de viande, de minerais de toute nature, et encore de quelques bricoles, et une augmentation non moins importante de la production de déchets de toute sorte, dont le CO2 fait assurément partie, avec pour tous ces flux des impasses qui se précisent pour les décennies à venir. Soit enfin chacun d'entre nous - et donc nos élus - qui aime la croissance chez soi le Lundi mais un peu moins chez les autres le Mardi, la première étant bonne pour nos emplois et la second mauvaise pour nos enfants, alors qu'il s'agit bien évidemment de la même.

Que faire face à cette somme de contradictions ? Mais c'est évident mon cher Watson : dé-ma-té-ria-li-ser. « Avant », impossible : notre économie se nourrissait de tonnes de charbon, d'acier et de ciment, et les ouvriers ressortaient la gueule noircie des mines, des locomotives et des usines : tout cela était d'un matérialisme évident, et on ne faisait pas de croissance sans casser quelques œufs. Heureusement, cette vision ne sera bientôt qu'un souvenir du passé : grâce à Internet, l'économie de services, les loisirs, les employés de bureau, les visites payantes au Musée,(2) et encore quelques autres bricoles parfaitement dématérialisées, l'employé(e) ressort de son bureau les mains propres et le pli du pantalon - ou de la jupe - impeccable. Pfuif ! Terminées les consommations matérielles, et le PIB va pouvoir monter pendant que les consommations de ressources non renouvelables vont baisser : mettre tout le monde derrière un ordinateur, il suffisait d'y penser. Nous serons sauvés par la tertiarisation de l'économie, impensable auparavant. La vérité étant, pour reprendre une maxime d'Allais (l'économiste, pas l'écrivain !), non point l'opinion de la majorité, mais ce qui découle de l'observation des faits, que disent ces derniers ?

Il est incontestable que, en 2 siècles, la part de l'emploi dans le tertiaire (en France) est passée de 15% à 70% (ci-dessous), avec diminution à due concurrence de la part des deux autres secteurs d'activité.



Graphique 1 : Part de chaque secteur d'activité dans l'emploi en France de 1800 à 1996.

Mais la part de l'emploi industriel a également augmenté sans cesse jusqu'en 1974 (au détriment de l'emploi agricole), et surtout il y a une évolution que le raisonnement en pourcentage masque complètement : il y avait 2 millions d'actifs dans l'industrie en 1800, alors qu'il y en a 8 millions aujourd'hui. Si nous prenons comme ratio

non pas la part de l'industrie dans l'emploi, mais le nombre d'emplois industriels par hectare de sol, avons-nous tant dématérialisé que cela ?

Il y a une deuxième chose que ce pourcentage sur l'emploi ne dit pas : un employé du tertiaire de l'an 2000 consomme-t-il moins d'eau, d'énergie, ou de minerai de cuivre qu'un employé de l'industrie (et des mines) d'il y a un siècle ? Si nous prenons l'énergie ou l'espace au sol, il n'est pas sûr que le tertiaire d'aujourd'hui soit moins consommateur que l'industrie d'hier. L'INSEE met en effet dans les services nombre d'activités parfaitement énergivores ou dévoreuses d'espace, à commencer par les transports (routier, maritime ou aérien), les zones commerciales en périphérie de ville (et les accès routiers associés), et encore tout ce qui est logistique, loisirs, santé, (3) enseignement, sports, etc ; ces activités utilisent des bâtiments qu'il va bien falloir chauffer, desservir en électricité, et accessoirement alimenter en objets industriels pour leur fonctionnement. Quand on sait que bâtiments et transports, mis bout à bout, sont à l'origine de 70% de la consommation d'énergie en France, (4) on mesure que d'assimiler automatiquement cette « tertiarisation » à une diminution de la pression anthropique sur l'environnement est peut-être un raisonnement un peu court. Et de fait, un employé de bureau émet, en 2005, à peu près autant de gaz à effet de serre pour son seul travail (y compris la fabrication des ordinateurs et de l'immeuble occupé) qu'un Français de 1960 en émettait tous usages confondus.

Enfin, une autre observation qui vient montrer que rien n'est simple est qu'il n'y a point de tertiaire... sans industrie. Si nous pouvons passer nos journées confortablement assis sur une chaise ou derrière un ordinateur, c'est bien que dans le même temps machines et ouvriers conjugués fabriquent de plus en plus « à notre place » vêtements, nourriture, matériaux, et plus généralement tous les objets de la vie de « tous les jours ».

Si nous passons en revue les pays de la planète, n'est-il pas frappant de constater que la proportion d'emplois dans le tertiaire est, grosso modo, proportionnelle à la consommation d'énergie par habitant ? La faiblesse de la consommation d'énergie par personne conduit-elle à voir apparaître spontanément des armées d'employés de bureau au Mali, au Népal, ou en Mongolie ? Pas vraiment ! Industrialisation et augmentation de l'emploi tertiaire seraient plutôt synonymes...

Peut-on tenter une explication ? L'apparition d'industries suppose certes des emplois directement rattachés aux flux matériels dans des usines (ouvriers et leur encadrement), mais il faut aussi du monde pour distribuer et administrer cette production, et éventuellement déplacer, aider, ou former les clients, et ces emplois - de service - croissent avec la production matérielle.

Ce qui croît aussi avec la productivité industrielle, c'est le nombre de paires de bras et de jambes qui vont pouvoir s'investir dans des services « de confort » (enseignement, garde d'enfant, ménage, restauration, etc) inaccessibles sinon. Il suffit dès lors que la performance des machines utilisés par les ouvriers augmente plus rapidement que la productivité des employés du commerce et des services, et le tour est joué : l'emploi tertiaire augmente le plus vite, mais... au service de la gestion d'une production industrielle qui augmente tout autant, et donc une économie pas du tout dématérialisée.

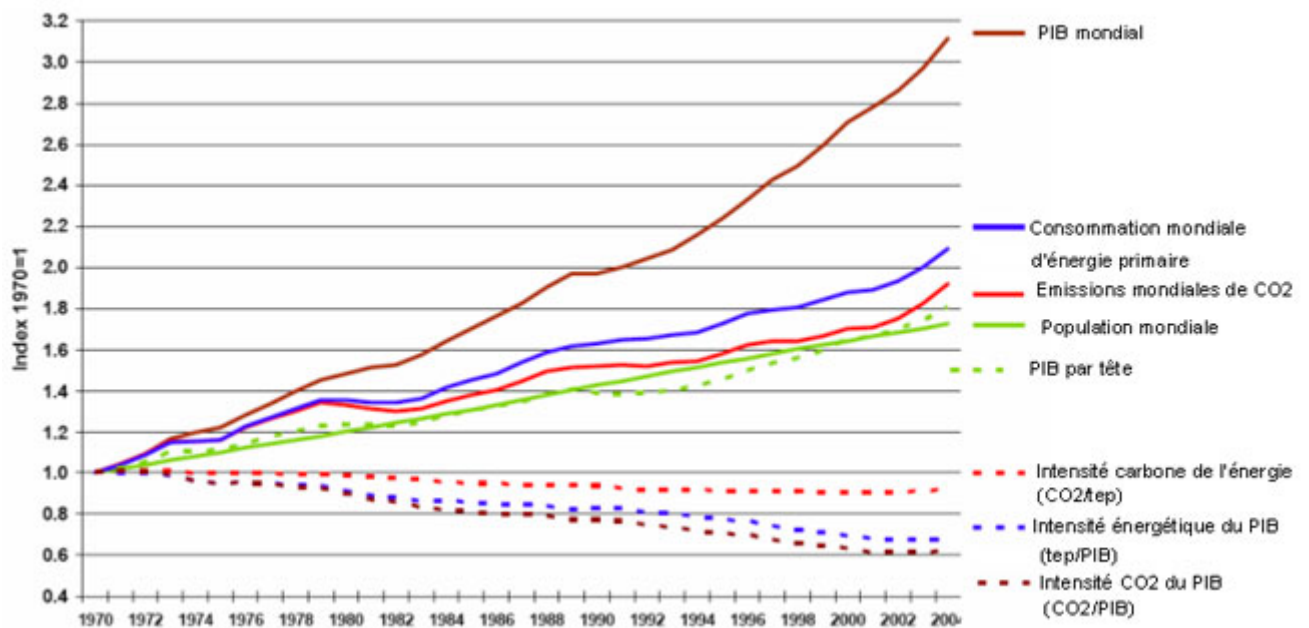
Est-il légitime de penser que la productivité ouvrière augmente plus vite que la productivité tertiaire ? Cela se plaide : il est beaucoup plus facile d'augmenter d'un facteur 10 la cadence d'une machine d'embouteillage à emploi quasi-constant - ou le nombre de containers chargés sur un bateau à emploi quasi-constant - que de multiplier par 3 le nombre d'enfants confiés à une assistante maternelle (600.000 emplois en France en 1998) ou à un enseignant du primaire et du secondaire (900.000 emplois). Il sera tout aussi ardu de multiplier par 3 - sans recourir à des machines - le nombre de m2 nettoyés en une journée par un agent d'entretien (1.000.000 d'emplois ; première profession en France) ou encore le nombre de clients qu'un vendeur peut servir par jour (1.000.000 d'emplois)... L'industrialisation massive doit donc assez logiquement déboucher sur une augmentation des flux matériels (tant que ça passe)... et de l'emploi dans le tertiaire. La seconde évolution serait donc plus une marque d'une société de plus en plus matérielle ! Et accessoirement, cela suggère que la sobriété énergétique renforcera la part manuelle du travail et non la diminuera.

Pour compliquer encore le débat, toute discussion sur la correspondance entre « dématérialisation » et emploi dans le tertiaire se heurte aussi, parfois, à un problème de nomenclature. Faut-il considérer comme emploi tertiaire un chauffeur de poids lourd ou une hôtesse de l'air, l'un comme l'autre ayant un emploi bien plus dépendant d'une énergie abondante qu'un ouvrier des mines du siècle dernier ? Faut-il mettre dans les activités tertiaires la distribution d'eau, pleine de pompes et de tuyaux partout (une station d'épuration, cela ressemble bigrement à une industrie !), un entrepôt logistique, ou encore un hypermarché de banlieue, qui est essentiellement un concentrateur de flux physiques (de produits vendus, de véhicules allant et venant) ? Que donnerait une nomenclature qui proposerait de classer les emplois en fonction de l'intensité énergétique ou l'intensité carbone ?

Après la structure de l'emploi, venons-en à ce qui fait l'objet d'un deuxième malentendu récurrent quand on parle de « dématérialisation » : l'utilisation d'un ratio unitaire pour juger d'une nuisance globale. Il est évident ou presque qu'à l'aune des ratios unitaires tout va de mieux en mieux Madame la Marquise. Il faut 4 à 5 fois moins de terre pour produire un quintal de blé qu'il y a 1 siècle, 4 fois moins d'essence pour faire fonctionner un CV de puissance de moteur qu'il y a 25 ans, 2 fois moins d'énergie pour chauffer un m2 de bâtiment qu'il y a 30 ans (en

France), à peu près 10 fois moins d'énergie pour faire une tonne de verre, et il serait possible de continuer ainsi cette énumération très longtemps : nombre de ratios unitaires s'améliorent significativement quand ils sont suivis sur quelques décennies. De manière globale, il faut aujourd'hui 25% d'énergie de moins pour produire un euro de PIB en France qu'il y a 30 ans, et c'est ce résultat qui conduit souvent à la conclusion que l'économie se « dématérialise ».

Mais... le système Terre n'en a cure, et dans le même temps que nous « dématérialisons » ainsi la promesse d'ennuis futurs augmente. En effet, peu chaut à notre planète que les véhicules ou les industries soient unitairement plus efficaces : tout ce qu'elle « voit » est la consommation globale pour tout ce qui est flux de matière ou d'énergie, ou rejets, par exemple de CO₂. C'est bien la quantité totale consommée qui conditionne la date du pic de production pour toute ressource dont le stock initial est donné une bonne fois pour toutes, (5) et non la consommation par objet fabriqué ou utilisé. Le graphique ci-dessous illustre très bien, sur les cas particuliers de l'énergie et du CO₂, cet antagonisme entre analyse à partir des ratios et analyse à partir de la nuisance globale : les ratios unitaires baissent (ce qui séduit notre cervelle), mais les nuisances globales augmentent (et c'est la seule chose qui importe à la planète).



Fort bien, dira l'esprit analytique : pour le moment, l'économie va plus vite que les progrès unitaires, mais si nous nous y mettons vraiment, nous aurons l'inverse, et à nous la croissance perpétuelle sans les ennuis de la croissance perpétuelle. Peut-on discuter *quantitativement* cette « théorie » ?

On me pardonnera un certain tropisme pour les émissions humaines de CO₂, mais c'est pourtant cette molécule toute simple qui va me servir pour la dissertation qui suit. Nos émissions de CO₂ possèdent en effet un avantage incomparable dans toute spéculation sur l'avenir : elles font l'objet d'une double contrainte exogène, relativement facile à caractériser. La première d'entre elles est dictée par les mathématiques : comme le CO₂ émis par l'homme est issu de la combustion des hydrocarbures et du défrichement des surfaces forestières, et que le stock d'hydrocarbures est fini aux échelles de temps qui nous intéressent, (6) tout comme la surface des forêts, il est absolument certain que nos émissions de CO₂ vont passer par un maximum, puis tendre vers zéro à l'infini. (7) Ces émissions de CO₂ seront donc « un jour » inférieures de moitié (et même inférieures du quart, du dixième...) à ce qu'elles sont aujourd'hui, que cela nous plaise ou pas.

La deuxième contrainte exogène est fixée par le climat : pour que la concentration atmosphérique de CO₂ cesse d'augmenter, il faut précisément que nos émissions de ce gaz redeviennent inférieures à la moitié de ce qu'elles étaient en 1990. Certes cette diminution est certaine « un jour », comme le paragraphe précédent l'expose, mais pour éviter que le changement climatique ne devienne une force de rappel encore plus contraignante que la géologie nous serions bien avisés de parvenir à ce résultat le plus vite possible, disons d'ici 2050.

La question qui se pose alors est d'une simplicité biblique : cet impératif physique trouve-t-il facilement sa place dans la « croissance » telle que nous la concevons ? C'est une petite équation toute simple, que la légende attribue à un professeur japonais dénommé Kaya, qui va nous aider à répondre à cette question. Cette équation (ci-dessous) s'obtient tout simplement en multipliant et en divisant les émissions de CO₂ par, successivement, l'énergie consommée (dans le monde), le PIB mondial, et enfin la population mondiale.

$$CO_2 = \frac{CO_2}{TEP} * \frac{TEP}{PIB} * \frac{PIB}{POP} * POP$$

Si nous exprimons cette équation avec des mots, cela donne ce qui suit :

Emissions de CO2 = Intensité CO2 de l'énergie x Intensité énergétique du PIB x PIB par personne x Population

Cette cuisine un peu particulière permet alors d'exprimer les émissions de CO2 comme le produit de quatre termes sur lesquels nous aimons à tenir des raisonnements autonomes : ceux qui parlent démographie s'intéressent rarement à l'intensité énergétique du PIB ; ceux qui dissertent le plus sur la croissance du PIB par personne sont rarement très soucieux de savoir s'il est « CO2-compatible », ou s'il se conjugue avec la population, etc.

Le grand mérite d'une égalité, aurait dit De La Palisse, c'est que les deux termes doivent être égaux. De ce fait, si le terme de gauche est sous contrainte, alors le produit des 4 termes de droite doit subir la même, et cela permet de replacer dans une même discussion démographie, PIB, énergie et CO2. En particulier, s'il est certain que les émissions de CO2 vont être divisées par 2, et s'il est souhaitable que cela se produise d'ici 2050, combien est-ce que cela contraint les termes de droite ?

Commençons par la population : de 6 milliards en 2000, elle s'achemine vers 9 en 2050 (du moins si aucune régulation brutale n'intervient). Mais comme il serait d'une portée pratique limitée de suggérer une division volontaire de la population par deux en 50 ans pour respecter l'égalité, oublions cette marge de manœuvre et passons à la suite.⁽⁸⁾ Il est bien évident, cependant, que de ne pas souhaiter une division rapide de la population par deux n'est en rien une garantie que cette évolution est impossible si ce sont des forces de rappel indépendantes de notre volonté qui se chargent de faire respecter l'égalité, et c'est bien là l'un des dangers, même si personne n'est capable de le scénariser de manière précise.

Quid du PIB par personne ? Une augmentation annuelle de 2% du PIB par habitant, ce qui est la borne inférieure de ce que tout élu tente d'obtenir lorsqu'il est en fonction, augmente cette valeur d'un facteur 3 en 50 ans (1,02 à la puissance 50 = 2,7 pour être précis).⁽⁹⁾

Avant d'engager la suite de la discussion, nous voici donc avec un terme de gauche dont nous aimerions qu'il baisse de 50% en 50 ans, et un produit des deux termes les plus à droite qui représente une multiplication par 4,5 environ sur le même laps de temps. Question : les deux termes restants, qui se conjuguent pour donner l'intensité CO2 du PIB, peuvent-ils assurer une division par un facteur 9 à 10 en 50 ans ? Peut-on, en 45 ou 50 ans, faire un dollar de PIB avec 10 fois moins de CO2 ?

Reprenons la dissertation sur les deux termes en question : l'intensité énergétique de l'économie s'est améliorée de 30% dans le monde en 35 ans, période qui inclut la suite du double choc pétrolier de 1973-1979 et la multiplication par 10 des prix du pétrole, ce qui a constitué une incitation autrement plus puissante à faire des efforts que la morale. La prolongation d'un taux de diminution identique amènerait une réduction de 40% en 50 ans environ, mais c'est peut-être faire preuve d'optimisme, car comme pour l'intensité CO2 de l'économie ce ratio évolue dans le mauvais sens depuis 4 à 5 ans, et ce sont les premiers efforts les plus faciles.

La juxtaposition des hypothèses précédentes amène « mathématiquement » à cette conclusion sur le dernier terme : dans le même temps que l'approvisionnement en énergie double sur 50 ans, l'intensité CO2 de l'énergie doit être divisée par 4, alors que cette intensité a péniblement gagné 10% en 35 ans (graphique ci-dessus). Facile ? Sûrement pas. Possible ? Beau sujet de débat : dans le même temps qu'il faudrait 6 à 15.000 réacteurs nucléaires en fonctionnement (450 aujourd'hui), il faudrait multiplier par 7 la contribution de la biomasse, affectant la quasi-totalité des forêts actuelles à un usage énergétique, et dans le même temps multiplier par 7 les lacs de barrage. Oublions le photovoltaïque et l'éolien dans ce scénario : même avec de forts taux de croissance, passer des 0,05% actuels (éolien) ou 0,005% actuels (photovoltaïque) dans le total mondial à quelque chose qui soit suffisant pour boucler l'égalité ci-dessus (en 45 ans) est proprement impensable.

Il en ressort inévitablement cette question : comme « l'environnement » (c'est-à-dire des émissions de CO2 divisées par deux) finira par gagner, quelle est l'évolution du PIB par personne qui peut prendre place dans ce contexte sans violer les mathématiques ?

NOTES

1. Voir par exemple l'article Bauquis-Le Treut-Rogeaux dans ce même numéro.

2. Cela renvoie à une anecdote authentique : lors d'un colloque organisé juste avant les présidentielles de 2002, un haut responsable du PS avait indiqué, à la suite d'une question de l'auteur sur la manière de découpler économie et flux matériels, que cela se ferait sans problème parce que « les gens iraient au musée pendant leur temps libre, ce qui contribuerait au PIB ». L'épisode serait risible (et du

reste il a fait rire toute la salle) s'il n'était, au fond, dramatique, car il illustre très bien l'immense faiblesse de la réflexion, dans les sphères politiques, sur la compatibilité entre la vision « classique » de l'avenir et les limites physiques du monde.

3. Dans nombre de villes de province en France, l'hôpital est le premier employeur, or un hôpital, cela possède une grosse chaudière, voit passer des véhicules en quantité importante, et comporte nombre de machines, de fils et de tuyaux...

4. Mais 50% des émissions de gaz à effet de serre, à cause du très faible contenu en CO2 de l'électricité française. La correspondance entre part dans l'énergie et part dans le CO2 est plus forte à l'échelle mondiale, 40% de l'électricité mondiale étant faite au charbon, et 20% au gaz.

5. La certitude du « pic de production » pour le pétrole, le gaz, le charbon, ou n'importe quel minerai se démontre mathématiquement : c'est la simple application aux hydrocarbures d'un théorème sur les intégrales bornées que nous avons tous eu comme exercice de colle...

6. S'il faut 300 millions d'années pour faire du charbon ou 50 millions d'années pour faire du pétrole, on peut considérer que c'est le cas.

7. Cf le même théorème sur les intégrales bornées !

8. Incidemment rappelons que nombre de personnes, dans notre pays, suggèrent au contraire qu'il faut favoriser l'accroissement démographique pour payer les retraites. Dans les conditions actuelles, sommes nous sûrs que ces descendants que nous nous créons, nous sommes capables de leur léguer un capital naturel suffisant pour assurer leur « croissance » et la nôtre en prime, puisqu'ils sont censés assurer nos vieux jours ?

9. 2,7 pour être précis : 1,02 à la puissance 50

**La Jaune et La rouge 2007 :
CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT**

**Editorial
Jean-Marc Jancovici
Président d'X-Environnement**

Il aura finalement fallu 35 ans pour que la question fondamentale posée par le rapport Meadows (souvent appelé « rapport du Club de Rome ») revienne au centre du débat politique dans notre pays. Avec le recul du temps, il est évident que ce travail a fait - et continue à faire - l'objet de multiples contresens, il est vrai favorisés en France par un choix particulièrement malheureux pour la traduction du titre.⁽¹⁾ En effet, que se demandaient les auteurs de ce travail ? Tout simplement si la « croissance économique durable » était possible : qui ne se pose la question aujourd'hui ?

La réponse de l'époque, fournie en pleines « Trente Glorieuses », avait assurément de quoi effrayer : l'étude affirmait que les flux physiques et l'économie ne seraient pas décorrélés assez rapidement pour éviter un effondrement économique massif au cours du 21^e siècle, sous le double effet du manque de ressources et de l'excès de pollution, et la chute serait d'autant plus dure que la croissance préexistante aurait été forte. L'argument majeur était simple : dès lors que l'économie se nourrit de la dépréciation du capital naturel et non de ses seuls intérêts, ce qui est de plus en plus le cas, la dégradation cumulative du capital naturel résultant de la croissance économique en cours finira « un jour » par interdire autre chose qu'une décroissance structurelle de l'activité d'*homo industrialis*.

35 ans de progrès scientifiques et techniques n'ont hélas pas rendu cette crainte caduque, bien au contraire : les limites de la planète et les échéances étant de mieux en mieux cernées, la question du « découplage » est donc plus que jamais brûlante d'actualité. Le récent rapport Stern, par exemple, indique que faute d'organiser délibérément la baisse de nos émissions de CO2, le principal danger n'est pas de faire hurler les opposants à l'économie de marché, mais bien de faire implorer cette dernière.

Les temps redeviennent peut-être propices à un débat approfondi : le « Grenelle de l'environnement », que le gouvernement dev(r)ait ⁽²⁾ organiser dans quelques semaines, remet, finalement, le Club de Rome au goût du jour. Il s'agira de tracer les contours d'une « économie écologique », qui ne suppose pas une transgression des limites, tout en maintenant un relatif niveau de prospérité, au surplus transférable au reste de l'humanité qui le réclame légitimement. N'est-ce pas revenir dans la pratique sur la question des « limites de la croissance » ?

Pour susciter un maximum d'attention à cette question cruciale, nous avons reçu un renfort de talent : celui de Yann Arthus-Bertrand, qui nous a offert de quoi illustrer merveilleusement ce numéro, et que je remercie

vivement pour avoir rendu possible cette première pour notre honorable revue. Et grâce soit aussi rendue à tous ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro, bien sûr, soit en faisant la chasse à l'auteur, **(3)** soit en faisant partie de ces derniers, qui - oserais-je finir par un bon mot ? - n'ont pas ménagé leur peine pour essayer de nous en éviter plus tard. Merci infiniment à eux, et bonne lecture !

NOTES

1. Le titre anglais, « The limits to growth », a été traduit - on se demande bien pourquoi - en « Halte à la croissance ? » (qui au surplus est souvent cité en remplaçant le point d'interrogation par un point d'exclamation). [Retour >>>](#)
2. Le choix de « devrait » ou « devait » va dépendre de la manière dont les choses se seront passées entre la rédaction de ce texte et sa parution ! [Retour >>>](#)
3. Alain Grandjean (coordination), Marie-Véronique Gauduchon, Guillaume de Smedt, Benoit Leguet, Franck Le Gall, Jérôme Perrin.