

Libre opinion

Pour un catastrophisme raisonné : réflexion sur l'identité de Kaya

Jacques Treiner

Physicien, Espace Pierre-Gilles de Gennes, ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France

L'attribution du prix Nobel de la paix 2007 au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)¹ et à Al Gore a consacré 20 ans d'efforts des climatologues de la planète : il ne fait plus de doute maintenant que les activités humaines modifient la composition de l'atmosphère en gaz à effet de serre (GES) et, partant, le climat de la planète. Paul Crutzen, prix Nobel de chimie pour ses travaux sur la couche d'ozone, a proposé d'appeler « ère anthropocène » cette période nouvelle dans laquelle la Terre est entrée depuis 150 ans environ, qui voit les conditions physico-chimiques présidant au développement de la biosphère modifiées par l'humanité elle-même, sur une échelle de temps d'une rapidité inconnue dans le passé.

Le GIEC, dans son dernier rapport de 2007, a proposé un seuil à ne pas dépasser pour la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère : environ 500 ppmv (parties par million en volume), correspondant, selon les modèles climatiques, à une élévation moyenne de température de la planète de 2 °C. En deçà de ce seuil, des mécanismes d'atténuation des effets peuvent être imaginés ; au-delà, on entrerait dans une zone d'imprévisibilité, avec tout ce que cela comporte de possibilités de conflits d'un type nouveau, liés notamment à des déplacements importants de populations, contraintes de quitter des zones devenues inhospitalières : d'où le prix Nobel de la paix. C'est la fixation de ce seuil qui a conduit à l'objectif de division par deux, d'ici 2050, des émissions de GES à l'échelle de la planète. Dans la mesure où les pays développés sont les principaux émetteurs, l'objectif les concernant

doit être nettement supérieur. C'est l'origine du fameux « facteur 4 » pour la France². Le pouvons-nous ?

Un outil de pensée...

Dorénavant, même s'il demeure des incertitudes concernant certains aspects de l'évolution du climat, des efforts sérieux de réflexion doivent être consacrés à la définition de trajectoires sociales permettant de passer de la situation actuelle à un développement humain « décarboné ». Notons au passage que, si l'on se projette de quelques siècles dans le futur, l'humanité sera parvenue, d'une façon ou d'une autre, à une économie décarbonée – puisqu'il n'y aura plus de sources d'énergie fossile ! Le pic de production de pétrole sera vraisemblablement atteint dans la décennie qui vient, le gaz suivra avec un peu de décalage ; quant au charbon, les réserves sont de quelques siècles seulement. Une trajectoire existe donc, par la force des choses. La question est de savoir s'il existe une ou des trajectoires maîtrisées, permettant d'éviter des secousses sociales trop brutales.

Envisager à long terme les émissions de gaz à effet de serre nécessite de mettre ensemble les principaux facteurs technologiques, économiques et sociaux dont elles dépendent. Une approche schématique, mais commode, utilise l'identité de Kaya, du nom de l'économiste japonais Yoichi Kaya qui l'a proposée en 1990, alors qu'il participait

Auteur correspondant : jtreiner@orange.fr

J. Treiner est également président du groupe « Sauvons le climat – Île-de-France »

¹ En anglais, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

² Il s'agit là d'une estimation basse, valable pour un pays comme la France ou la Suède, dont la production d'électricité est quasiment non émettrice de GES. Pour un pays comme l'Allemagne, ce facteur est plutôt de l'ordre de 6 à 8, et de l'ordre de 15 pour les États-Unis !

aux travaux du GIEC³. Cette approche consiste à introduire trois rapports caractérisant chacun un aspect de la question :

- l'intensité carbone de l'énergie, définie comme le rapport de la quantité de GES émis (en équivalent CO₂) à l'énergie primaire⁴ responsable de cette émission ;
- l'intensité énergétique, définie comme le rapport de l'énergie primaire dépensée au produit intérieur brut (PIB) qu'elle a permis de créer ;
- le niveau de vie, mesuré par le rapport du PIB au nombre d'habitants.

On écrit alors, en désignant par CO₂ les « émissions de GES en équivalent CO₂ », l'identité suivante :

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{énergie}} \times \frac{\text{énergie}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{population}} \times \text{population}.$$

Cette relation est bien une identité, puisqu'on retrouve au numérateur et au dénominateur les mêmes facteurs, qui se simplifient deux à deux – sauf, bien sûr, les émissions de CO₂.

La décomposition suggère de traiter chaque rapport indépendamment les uns des autres, bien qu'en réalité ils ne soient pas vraiment indépendants. Par exemple, dans les pays riches, les trois rapports sont grands : l'énergie primaire utilisée est principalement d'origine fossile ; ces pays sont grands consommateurs d'énergie ; et le PIB par habitant est élevé, car... ce sont des pays riches ! En conséquence, les émissions de GES par habitant, dont le montant est égal au produit des trois rapports, sont élevées. A-t-on vraiment appris quelque chose en décomposant les choses ainsi ?

En fait, oui. Et tout article publié sur les émissions de GES peut s'analyser suivant la logique de l'identité de Kaya⁵.

Car l'enjeu d'une politique de réduction des émissions et d'atténuation des effets du réchauffement climatique

³ Cf. Kaya, Y., 1990. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris. Y. Kaya est directeur général du Research Institute of Innovative Technology for the Earth (Kyoto).

⁴ L'énergie primaire est celle qui se trouve à la source naturelle des transformations en jeu dans la production d'énergie utilisable. L'énergie finale est celle qui est délivrée au consommateur. Par exemple, l'énergie nucléaire est primaire, l'énergie électrique qu'elle permet de produire est finale.

⁵ On pourra consulter, par exemple, l'article de synthèse de Patrick Criqui (2006), Effet de serre : quelques scénarios. Stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre pour préserver le climat de la planète, *Futuribles*, 315, 65-78, ainsi que le point de vue, toujours instructif, de Jean-Marc Jancovici sur son site : <http://www.manicore.com/documentation/serre/kaya.html>. Voir également IPCC, Nakicenovic, N., Rob Swart, R. (Eds), 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge, Cambridge University Press.

consiste précisément à faire en sorte que ces trois rapports ne soient plus intimement liés, et à se donner les moyens d'agir sur chacun d'eux séparément. Ainsi, l'intensité carbone, aujourd'hui élevée car l'énergie primaire est à 80 % d'origine fossile, doit diminuer au cours du siècle. Pour cela, des efforts conjugués doivent être menés concernant le développement d'énergies renouvelables, la captation et l'enfouissement du gaz carbonique produit par la combustion des ressources fossiles dans les centrales à flamme, et la recherche d'économies d'énergie. Concernant ce dernier poste, soulignons que 35 % de la consommation d'énergie primaire sont dédiés au chauffage et 25 % au transport. L'isolation des bâtiments ne nécessite pas la mise au point de technologies nouvelles. Elle doit être entreprise de façon volontariste, car le taux de renouvellement du bâtiment n'est que de 1 % par an. La meilleure stratégie en la matière consiste donc à commencer par le bâti ancien, où les gains énergétiques peuvent être les plus importants. Diminuer les émissions associées au transport suppose de développer le transport électrique – à condition de produire l'électricité de façon non émettrice de GES : nucléaire, hydraulique, énergies renouvelables.

La diminution du second rapport, l'intensité énergétique, dépend de l'amélioration des techniques industrielles. Les premiers chocs pétroliers des années 1970 ont été très incitatifs, et il n'y a probablement plus grand-chose à gagner de ce côté : nos appareils sont de bien meilleure qualité aujourd'hui qu'il y a trente ans, mais les efforts concernant les performances unitaires ont été largement absorbés par l'augmentation du parc des appareils. Nos voitures consomment moins, mais nous en avons beaucoup plus. L'intensité énergétique est également au cœur de la réflexion concernant ce que l'on appelle la dématérialisation de l'économie. Internet en est l'exemple donné le plus couramment : la communication à distance (courriel, vidéoconférences, etc.) peut, dans de nombreux cas, remplacer le déplacement physique des personnes. On peut ainsi envisager peut-être une progression de l'économie sans que ce progrès s'identifie avec une consommation toujours accrue d'énergie. Il faut cependant noter que le développement du réseau informatique mondial repose sur une économie bien « matérielle » : construction des ordinateurs, d'une part, mais aussi consommation énergétique associée au fonctionnement de ce réseau ! Un exemple : la consommation électrique de Google est de l'ordre de grandeur de ce que fournit une centrale nucléaire.

Quant au troisième rapport, peut-on envisager de le faire diminuer ? Quelle personnalité politique proposerait publiquement de diminuer le PIB par habitant, si celui-ci est identifié au niveau de vie ? Sous l'égide du Programme des Nations unies pour le développement, Amartya Sen (prix Nobel d'économie 1998), et d'autres économistes avec lui, ont proposé de mesurer le bien-être humain au

moyen d'un indice de développement humain (IDH) qui tient compte non seulement du PIB par habitant, mais également de l'accès à la santé et au savoir. En France, une commission présidée par Joseph Stiglitz (prix Nobel d'économie 2001), et à laquelle participe notamment Amartya Sen, travaille à l'élaboration d'indices de développement plus révélateurs que le PIB. Le classement des nations consultable sur Wikipedia est instructif : alors que, selon le critère du PIB par habitant, les États-Unis sont 5^e et la France 23^e, selon le critère de l'IDH, ils sont respectivement 15^e et 11^e. D'autres critiques sont formulées contre le PIB, dans une situation où certaines ressources arrivent en bout de réserves et où les préoccupations environnementales impliquent de considérer l'ensemble du cycle de vie d'un produit, depuis les matières premières nécessaires à sa production jusqu'à la gestion des déchets qu'il génère. Le PIB compte, en effet, la somme de toutes les dépenses effectuées au cours d'une année dans un pays. Un accident, une catastrophe environnementale, ou de toute autre nature d'ailleurs, pourvu qu'elle engendre des dépenses, contribue à l'augmentation du PIB ! C'est absurde, mais c'est ainsi. Le PIB ne comptabilise pas non plus les ressources naturelles, considérées dans toutes les théories économiques comme abondantes par principe, donc sans prix. Seul compte, dans la théorie classique, le coût de leur mise en œuvre : le minerai n'a pas de prix, c'est le coût de son extraction qui, hors mouvements spéculatifs, lui en donne un. On sent bien que cette discussion n'est pas que technique : elle met en jeu, de façon nécessairement vague, ce qu'on appelle le progrès.

Enfin, s'agissant de la population, l'évolution marquante attendue dans l'ensemble des sociétés est la transition démographique. Les démographes dénomment ainsi ce passage d'une société traditionnelle et pauvre, où les taux de fécondité et de mortalité (notamment périnatale) sont élevés, à une société développée où les deux sont fortement diminués. Pendant la transition, la population augmente beaucoup, car il est relativement facile, par des mesures d'hygiène et une amélioration de la qualité de l'eau, de diminuer de façon notable le taux de mortalité périnatal, alors que le taux de fécondité, lié à des habitudes culturelles profondément ancrées, demeure élevé. Puis, avec le développement économique, la scolarisation des enfants et l'alphabétisation des femmes, le taux de fécondité tend à diminuer et se stabilise à une valeur proche de deux.

En Europe, par exemple, où tous les pays ont effectué leur transition démographique, les taux de fécondité sont souvent passés en dessous de deux enfants par femme, si bien que les projections des démographes de l'ONU⁶

⁶ On trouve ces données sur le site de l'Institut national d'études démographiques (<http://www.ined.fr>) : dans le bandeau en haut de page, cliquer sur « Tout savoir sur la population », puis sur « Jouer à la population », puis sur « Le simulateur de population » et « Lancer l'animation ».

indiquent une diminution de la population totale, qui devrait passer de 730 millions en 2009 à 660 millions en 2050. L'Afrique, en pleine transition démographique, qui a aujourd'hui 1 milliard d'habitants et un taux moyen de fécondité de 4,6 enfants par femme, devrait atteindre au milieu du siècle environ 2 milliards d'habitants, avec un taux de fécondité de 2,4. La Chine, avec un taux de fécondité de 1,73 (politique de « l'enfant unique »), devrait passer par un maximum de 1,45 milliard d'individus vers 2040, puis diminuer jusqu'à environ 1,40 milliard en 2050. Enfin, l'Inde, qui a entamé sa transition il y a environ 20 ans, devrait voir son taux de fécondité passer de 2,35 à 1,85 en 2050, et sa population augmenter de 1,2 milliard à 1,7 milliard d'habitants. Quant au monde pris globalement, sa population devrait atteindre environ 9,2 milliards d'habitants en 2050, mais avec un taux de croissance en diminution. Il faudra attendre encore quelques décennies pour que la population mondiale se stabilise, voire se mette à diminuer, à partir d'un maximum d'environ 10 milliards d'individus.

... pour faire parler les données globales

Que disent les données récentes concernant ces facteurs : intensité carbone, intensité énergétique et PIB par habitant ?

On constate, sur la figure ci-après, que l'intensité carbone et l'intensité énergétique se sont améliorées au cours des trente dernières années (les courbes sont légèrement décroissantes), mais que la croissance de la population et celle du PIB ont fait plus que contrebalancer ces tendances. En conséquence, par rapport à 1970, les émissions de CO₂ ont augmenté d'un facteur supérieur à 2.

Prenons alors le problème à l'envers et tentons d'analyser ce qu'un objectif, en termes d'émissions de CO₂, implique comme contrainte sur les rapports entrant dans l'identité de Kaya.

Nous avons rappelé que la recommandation du GIEC est de limiter l'augmentation de la température moyenne de la Terre à environ 2 °C et que, pour être tenu, cet objectif supposait que les émissions de CO₂ soient diminuées d'un facteur 2 d'ici 2050. Comment est-ce possible ?

Nous avons vu que la population de la Terre allait passer de 6,5 milliards d'individus à un peu plus de 9 milliards, soit une augmentation d'un facteur 1,5. Il est également probable que la tendance des trente dernières années concernant le PIB par habitant se prolonge. Si l'on prend une augmentation, relativement modeste, de 2 % par an, chiffre souvent entendu, cela fait en 50 ans une augmentation d'un facteur 2,7. Le produit (PIB par habitant) × (population mondiale) va donc augmenter d'un facteur proche de 4. Pour tenir l'objectif de réduction des émissions de CO₂, il faut donc que le produit des deux rapports restant de l'identité de Kaya, intensité carbone et

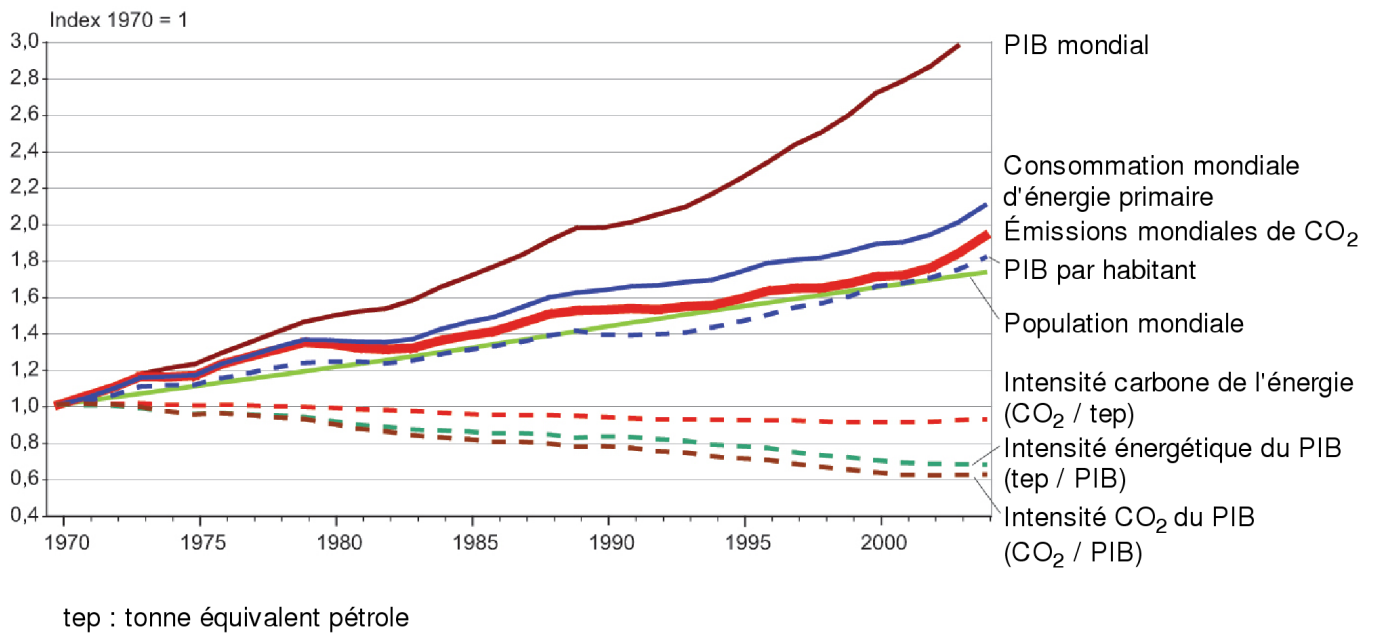


Fig. 1. Évolution du PIB par habitant, de l'intensité carbone de l'énergie et de l'intensité énergétique du PIB entre 1970 et 2004. (Source : Rapport 2007 du groupe de travail III du GIEC.)

intensité énergétique, diminuent d'un facteur de l'ordre de 8 ! Or, les tendances des trente dernières années sont, pour l'intensité carbone de l'énergie, une diminution de 5 % et, pour l'intensité énergétique du PIB, une diminution de 30 %. Le produit des deux, qui n'est autre que le rapport CO₂/PIB, et que l'on peut donc appeler l'intensité carbone du PIB, a donc diminué d'environ 35 %. On est loin du compte : en gros, on a été capable de diviser l'intensité carbone du PIB par 1,3, là où il faudra dorénavant la diviser par 8.

Conclusion raisonnable : nous n'y parviendrons pas, il faut nous résoudre à subir les conséquences d'un réchauffement climatique au-delà du seuil du GIEC. À quelle échelle de temps ? Les simulations climatiques indiquent que le climat dans 20 ans est déjà joué : il dépend de ce que nous avons émis jusqu'à aujourd'hui. Les différentes « trajectoires de développement » n'ont d'effet que pour la fin du siècle. Nous sommes prévenus.

Ouvrons timidement une porte, pour ne pas clore sur une perspective aussi pessimiste. Jusqu'ici, nous avons raisonné « en moyenne mondiale ». Or, si l'on détaille un peu les différents pays ou zones géographiques du monde, il apparaît que cette moyenne mondiale n'a pas grand sens : ni du point de vue du PIB ni du point de vue de la population. En effet, raisonner sur des valeurs moyennes n'est représentatif d'un ensemble que si les grandeurs sont de type gaussien, avec des écarts types

pas trop grands. Or, dans le cas qui nous occupe, on peut distinguer deux blocs de pays : (i) les pays riches, à haut niveau de vie, et dont la population, minoritaire à l'échelle mondiale, sera relativement stable dans les décennies à venir ; (ii) les pays émergents, à niveau de vie environ cinq fois plus faible mais en croissance parfois rapide, et dont la population déjà nombreuse va augmenter sensiblement au cours du siècle. Les pays vraiment pauvres ne contribuent évidemment pas, ou peu, aux émissions de GES.

Cette distinction, minimale car la réalité est évidemment plus complexe, laisse entrevoir cependant un ensemble d'autres trajectoires, celles associées à une décroissance globale. Certains, comme Serge Latouche en France, en sont des partisans résolus⁷. Mais elle ne peut se concevoir que s'il s'agit d'une décroissance moyenne résultant d'une décroissance réelle des pays riches, laissant la possibilité d'une croissance réelle des pays émergents ou pauvres, aboutissant à une diminution des inégalités.

Restons sur cette interrogation : comment gagner ce qu'il faut sur l'intensité carbone du PIB ? On voit bien qu'il ne suffira pas d'infléchir un peu plus la tendance existante : c'est une évolution radicale qui, d'une façon ou d'une autre, devra se mettre en place dans les prochaines décennies.

L'humanité, disait un auteur optimiste du XIX^e siècle⁸, ne se pose que les questions qu'elle peut résoudre. La question climatique est-elle une de ces questions ?

⁷ Cf. Latouche, S., 2006. *Le Pari de la décroissance*, Paris, Fayard.

⁸ Le lecteur aura reconnu Karl Marx...