



Gilles Allaire et Benoit Daviron (dir.)

## Transformations agricoles et agroalimentaires Entre écologie et capitalisme

Éditions Quæ

---

# Chapitre 1 - Les transitions socio-métaboliques globales

Fridolin Krausmann et Marina Fischer-Kowalski

Gaël Plumecocq

---

Éditeur : Éditions Quæ  
Lieu d'édition : Éditions Quæ  
Année d'édition : 2017  
Date de mise en ligne : 30 janvier 2020  
Collection : Synthèses  
ISBN électronique : Synthèses



<http://books.openedition.org>

### Édition imprimée

Date de publication : 2 mars 2017

### Référence électronique

KRAUSMANN, Fridolin ; FISCHER-KOWALSKI, Marina. *Chapitre 1 - Les transitions socio-métaboliques globales* In : *Transformations agricoles et agroalimentaires : Entre écologie et capitalisme* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ, 2017 (généré le 31 janvier 2020). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/quæ/21627>>.

---

## Partie I

---

# La question agraire dans une perspective écologique, géopolitique et historique



## Chapitre 1

# Transitions socio-métaboliques globales

F. KRAUSMANN, M. FISCHER-KOWALSKI

La plupart des recherches socio-écologiques de long terme analysent les interrelations dynamiques entre écosystèmes et sociétés dans des contextes très localisés. Pourtant, les changements technologiques et le développement économique au niveau global ont des impacts significatifs sur les interactions nature-société ayant lieu dans des contextes régionaux spécifiques. Il est donc fondamental de comprendre comment des systèmes socio-écologiques locaux et régionaux sont insérés dans des processus opérant à un niveau plus large (Haberl *et al.*, 2006). Dans ce chapitre<sup>1</sup>, nous analysons l'évolution des interactions nature-société associées à l'industrialisation, en mettant l'accent sur la manière dont les changements technologiques ont bouleversé les relations entre la société et son environnement naturel. Nous visons ainsi une meilleure compréhension des contraintes que l'environnement impose au développement socioéconomique et de l'importance de la technologie, à la fois dans sa capacité à réduire ou à éliminer ces contraintes, et à altérer l'environnement naturel.

Pour parvenir à cette compréhension socioécologique du phénomène d'industrialisation, nous nous appuyons sur les concepts de métabolisme sociétal et de « colonisation de la nature » (Baccini et Brunner, 1991 ; Fischer-Kowalski et Haberl, 1997a). L'utilisation de la notion de métabolisme dans le cadre d'une analyse socioéconomique date de Karl Marx qui voulait ainsi souligner le besoin qu'ont les humains d'obtenir leurs moyens de subsistance par un échange avec la nature, dans le cadre d'un processus socialement organisé et impliquant du travail (Fischer-Kowalski, 1998 ; Singh *et al.*, 2010). Ce concept a depuis été affiné, utilisé dans des travaux quantitatifs menés dans le cadre d'analyses comptables macroéconomiques, et historiquement spécifié : ce n'est pas seulement « l'être humain », dont le métabolisme est dépendant de la nature et a un impact sur elle, mais plutôt les différentes formes de production sociale et de consommation.

L'énergie est une composante essentielle du métabolisme d'une société. Sa disponibilité joue un rôle crucial dans la définition des relations avec la nature, en limitant la capacité des êtres humains à extraire, à transporter et à transformer des ressources. La question de cette disponibilité pour la société, ainsi que des sources à partir desquelles elle peut être obtenue, est donc fondamentale, non seulement pour les

---

1. Ce chapitre est une traduction d'un chapitre de l'ouvrage *Long Term Socio-Ecological Research: Studies in Society-Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales* (Singh S.J., Haberl H., Chertow M., Mirt M., Schmid M., dir.), Springer, 2012. Nous remercions les auteurs et les éditions Springer d'avoir accepté cette réédition.

relations que les sociétés entretiennent avec la nature, mais aussi pour les relations qui structurent les sociétés elles-mêmes. Il est ainsi possible de distinguer différents grands « régimes socio-métaboliques » qui sont apparus au cours de l'histoire de l'humanité, ainsi que des phases de transition, généralement présentées comme des « révolutions » : la Révolution néolithique, par laquelle est désignée la transition du régime de chasseurs-cueilleurs vers la société agraire, et la Révolution industrielle, qui désigne la transition de la société agraire vers le régime industriel (Sieferle, 2003).

Nous nous concentrons ici sur cette seconde transition, toujours en cours au niveau mondial. Ainsi, bien que le phénomène décrit ne soit pas particulièrement nouveau, nous tenterons de montrer que le recours à une perspective socioécologique élargie permet de renouveler les manières d'observer et de comprendre les changements technologiques à l'œuvre. En prenant en compte non seulement les acteurs humains et leurs relations, mais également les conditions et les conséquences naturelles de leurs activités, il est possible de parvenir à comprendre les besoins, les limites et les relations causales, et de les décrire en termes quantitatifs, ce qui permet d'éviter de rendre compte de ces processus en termes de progrès ou de déclin. Les récits construits sur l'idée de progrès ou de déclin reposent tous deux sur une compréhension de la nature à partir d'une interprétation magique (au moins implicitement) plutôt que sur une interprétation réaliste et fondée sur les sciences de la nature. À l'aphorisme « la foi peut déplacer des montagnes », il pourra alors être répondu en termes plus réalistes : « C'est bien possible, mais cela nécessitera énormément d'énergie. »

## ► Les relations société-nature avant la Révolution industrielle : le métabolisme des sociétés agraires

Le métabolisme des sociétés préindustrielles est basé sur l'usage de la biomasse, et donc sur la capacité des plantes à utiliser l'énergie solaire, *via* la photosynthèse, pour créer de la matière à partir de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), d'eau et de composés minéraux. La biomasse fournit, sous la forme de nourriture, l'énergie nécessaire à l'existence des êtres humains et de leurs animaux qui peuvent ensuite la convertir en travail. La combustion (du bois par exemple) fournit la chaleur nécessaire aux foyers et à diverses activités manufacturières (travail du métal par exemple). Elle fournit aussi l'éclairage.

L'impossibilité de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique (avant l'invention de la machine à vapeur) limite fortement la disponibilité en énergie mécanique. Les énergies hydraulique et éolienne jouent ainsi un rôle important, bien que quantitativement secondaire. Avant la Révolution industrielle, la biomasse fournit 99 % de toute l'énergie primaire. La majeure partie de la biomasse est utilisée pour nourrir les gens et leurs animaux. La part de la biomasse utilisée comme bois de chauffage varie selon les régions en fonction des forêts disponibles et des conditions climatiques. Enfin, une part réduite de la biomasse est destinée à des usages non énergétiques (habitat, habillement, outillage...).

En utilisant de la biomasse, les humains mobilisent des flux d'énergie renouvelable. Dans une économie agraire, la nature est transformée de façon à générer des

bénéfices sociaux sous la forme d'un accroissement de la quantité de biomasse utilisable. L'historien de l'environnement Rolf Peter Sieferle (2001) décrit les sociétés agraires comme des « systèmes d'énergie solaire contrôlée ». Au niveau global, ces systèmes d'énergie solaire contrôlée caractérisent les relations hommes-nature qui ont prévalu dans la plupart des sociétés humaines jusqu'au XXI<sup>e</sup> siècle. C'est ce que nous définissons comme « le régime socio-métabolique agricole ». Les nombreuses déclinaisons locales de ce régime, générées par les facteurs biogéographiques et sociaux, possèdent des caractéristiques communes qui permettent de le distinguer d'autres régimes socio-métaboliques (comme celui des « chasseurs-cueilleurs » ou le « régime industriel ») : la production d'énergie utilisable est basée sur une transformation contrôlée des écosystèmes dans le but d'accroître leur rendement en biomasse utilisable. Du travail est investi dans l'aménagement des écosystèmes et accroît leur productivité. Pour que cette forme de subsistance soit durable, il faut que les activités agraires aient un rendement énergétique net positif (taux de retour énergétique, TRE<sup>2</sup>) : la quantité d'énergie-biomasse produite doit être significativement plus importante que la quantité d'énergie dépensée sous la forme de travail humain. Le TRE de l'Europe centrale avant la période d'industrialisation était de 10 pour 1 (Leach, 1976 ; Krausmann, 2004). Le surplus d'énergie pouvait être redistribué vers les secteurs non agraires de la société, pour fournir nourriture et matériaux de chauffage aux urbains et à ceux ne prenant pas part aux activités agricoles, ainsi que pour nourrir les animaux servant au transport.

Plus le surplus est important et plus les structures sociales peuvent se complexifier. Le surplus n'atteint cependant jamais des niveaux particulièrement élevés, le travail de dix fermes domestiques est nécessaire pour subvenir aux besoins d'un ou de deux foyers supplémentaires (de propriétaires fonciers, d'artisans ou de fonctionnaires). Dans un tel régime, l'augmentation de la demande en nourriture, qui est généralement provoquée par une augmentation de la population, implique de consacrer de nouvelles terres à l'agriculture – ce qui peut nécessiter l'appropriation de nouveaux territoires. Lorsque la terre est rare et le territoire limité, une solution de dernier recours consiste à intensifier l'usage de l'espace en y appliquant une plus grande quantité de travail dans le but d'accroître les rendements. Cependant, à mesure que cette intensification s'opère, la production par heure de travail diminue jusqu'à atteindre une limite physique au-delà de laquelle le processus d'intensification n'apporte plus rien. Lorsque cette limite est atteinte, la totalité de la population est mise au travail (enfants compris) tout en souffrant du manque de ressources essentielles. Cette logique, étudiée par l'anthropologue Esther Boserup (1965, 1981), limite donc fondamentalement le développement des sociétés agraires : la croissance mène inexorablement à une stagnation des ressources énergétiques et matérielles par habitant, voire à leur diminution, en dépit de tous les progrès faits en matière de technique agricole.

Les contraintes liées au transport ajoutent une limite supplémentaire à la croissance. Dans ces sociétés, le transport terrestre repose sur le travail animal ou humain, coûteux en énergie (alors même que la biomasse a une densité énergétique faible) et, pour les matières premières pondéreuses, rentable seulement sur de courtes distances. La

2. Sur le concept de TRE (EROI en anglais), voir Hall *et al.* (1986 : 28).

biomasse étant une matière première dispersée dans l'espace et à faible densité énergétique, elle est particulièrement affectée par les contraintes de transports. Elle ne peut être déplacée sur de longues distances que lorsque des voies navigables existent. Dans le régime agraire, la croissance des villes est très contrainte et n'est possible qu'à la proximité de voies d'eau ou de côtes dotées d'arrière-pays fertiles. Les seules sources d'énergie mécanique étant le travail physique des hommes et des animaux, le vent et l'eau, la productivité du travail demeure faible<sup>3</sup>. Ainsi, le niveau, la structure et la différenciation spatiale du métabolisme sociétal, en reposant sur le système de l'énergie solaire contrôlée, sont sujets à de fortes limites. Les différences régionales tiennent essentiellement aux possibilités d'élevage et aux conditions climatiques<sup>4</sup>.

Bien que les sociétés agraires aient la capacité d'être énergétiquement soutenables (usage de flux renouvelables plutôt que des ressources épuisables), leur régime repose sur une transformation massive de la nature qui génère certains risques et problèmes environnementaux. Dans la plupart des cas, le développement de l'agriculture s'est fait au prix de déforestations : ainsi, par exemple, seule une petite partie de l'Angleterre était encore boisée avant la Révolution industrielle et, en Europe centrale, plus de 50 % des forêts ont été rasées entre 900 et 1900 (Bork *et al.*, 1998 ; Darby, 1956). Les changements dans les usages des sols impliquent aussi des changements dans les cycles de l'eau et des nutriments (azote, phosphore), dégradant souvent la qualité des sols et provoquant leur érosion. La transformation des écosystèmes change la faune et la flore, et le déplacement des plantes, des animaux et des parasites effectué par les hommes peut avoir de nombreux effets pervers (Crosby, 1986). La proximité avec les animaux encourage le développement de parasites et de maladies tandis que, dans les villes, l'air et l'eau deviennent pollués. Cependant, ces problèmes restent localisés. De plus, ils sont très fréquemment déclenchés par des processus naturels comme des phénomènes climatiques extrêmes. Les politiques cherchant à éviter ces problèmes s'appuient sur la diversification, plutôt que sur la spécialisation, et sur la sous-exploitation des ressources disponibles (Müller-Herold et Siefert, 1997).

Toutefois, un facteur déterminant pour la durabilité des sociétés agraires réside dans leur capacité à maintenir un équilibre entre les niveaux de population et de fertilité des sols, et à stabiliser ainsi les rendements agricoles sur le long terme. Les règles culturelles (et légales) permettaient de réguler la croissance des populations, notamment à travers les restrictions pour les mariages et les tabous sexuels, caractéristiques des sociétés agraires (Harris et Ross, 1987). Stabiliser, sans parler d'augmenter, la production alimentaire par habitant dans le cadre d'une agriculture entièrement dépendante de moyens de production locaux et biologiques est une tâche très difficile qui n'a pas toujours été couronnée de succès : dégradation des sols, désertification et, dans certains cas, effondrement de la structure sociale ont souvent résulté des

---

3. Il faut imaginer qu'avec 2 000 travailleurs pour bâtir les pyramides, les pharaons disposaient d'une capacité productive légèrement supérieure à celle d'un travailleur contemporain utilisant une machine pour construire une route.

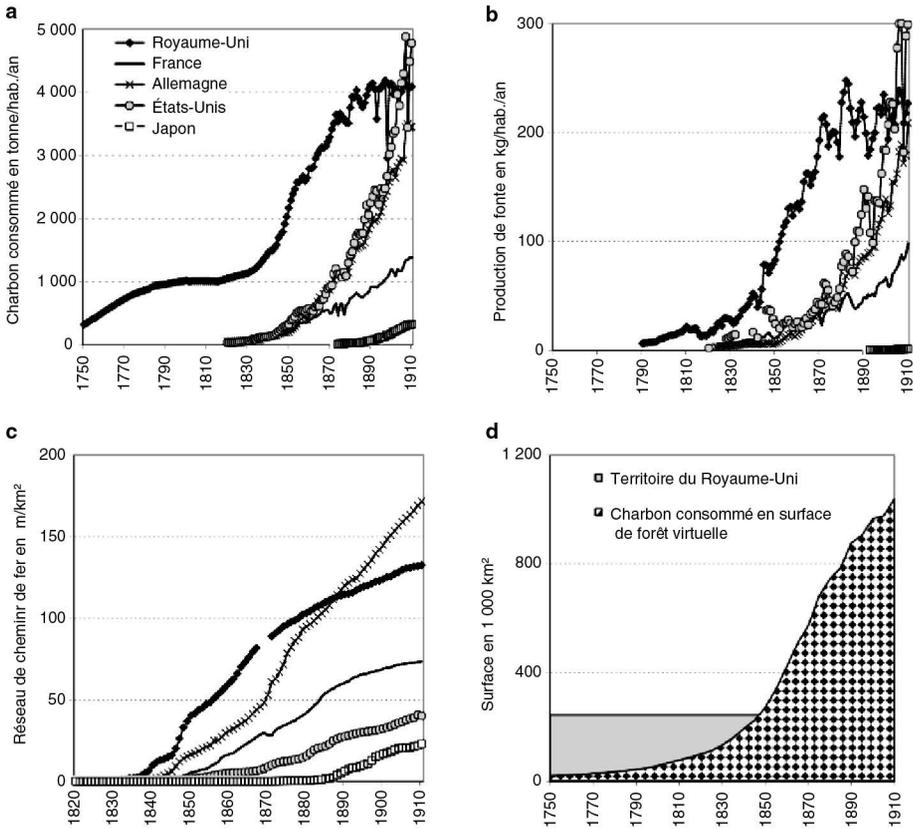
4. Les sociétés pastorales dotées d'un grand nombre d'animaux par habitant connaissent les meilleurs taux de conversion de la biomasse. Les sociétés dont les moyens de subsistance dépendent majoritairement du travail humain physique et des régimes alimentaires basés sur la culture des plantes (comme les sociétés du Sud et du Sud-Est asiatique qui cultivent massivement le riz) connaissent les taux de conversions les plus faibles.

tentatives ratées pour contrôler le système agricole ou d'un déséquilibre entre niveau de population et capacité du système agraire (Diamond, 2005 ; Tainter, 1988). Le système de rotation triennale, fréquemment utilisé en Europe centrale au début du XIX<sup>e</sup> siècle, parvenait à assurer l'apport d'éléments nutritifs pour les plantes au moyen d'un système de rotation complexe et intensif en travail incluant jachère, collecte et épandage de fumier, et transferts de nourriture des forêts et des prairies vers des terres arables (Mazoyer *et al.*, 2006 ; Cusso *et al.*, 2006 ; Krausmann, 2004).

## ► La phase charbonnière des transitions métaboliques ou la *success story* anglaise depuis le milieu du XVII<sup>e</sup> siècle

Au XVII<sup>e</sup> siècle, se développe en Angleterre un nouveau système énergétique basé sur une utilisation massive du charbon. Cette transition énergétique se caractérise par le passage d'une utilisation de ressources à faible densité énergétique – la biomasse renouvelable – à l'exploitation d'une ressource à forte densité énergétique – le charbon dont les « dépôts » se sont constitués au cours des ères géologiques passées (Smil, 2003). Connu de longue date, le charbon est initialement exclusivement utilisé pour le chauffage des villes, en remplacement du bois, incapable de satisfaire leurs besoins croissants. En Angleterre, du charbon est disponible à proximité des villes ou facilement transportable à bas prix par voie d'eau. Des centres d'industrie manufacturière très peuplés émergent aussi parce que, dès le XVII<sup>e</sup> siècle, les grands propriétaires fonciers anglais se rendent compte qu'il est plus rentable d'utiliser leurs terres pour la production de matières premières pour l'industrie textile que pour produire des denrées alimentaires à destination des populations rurales qu'ils considèrent comme superflues.

En 1800, les habitants d'Angleterre utilisent déjà 900 kg de charbon par an (voir figure 1.1a). Cela constitue un modèle de développement radicalement nouveau et promis à un grand avenir, comme l'ascension rapide de l'Angleterre allait le prouver. En 1800, l'Angleterre réalise 90 % de l'extraction mondiale de charbon dont une part non négligeable est exportée vers les autres pays européens qui, à leur tour, commencent à découvrir les bénéfices d'une économie carbonée. Pourtant, en termes quantitatifs, les États-Unis, le Japon ainsi qu'une grande partie de l'Europe demeurent, jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, assez largement dépendants d'un régime socio-métabolique agraire, et donc de la biomasse comme source de matières premières et d'énergie. Ce n'est qu'à partir de 1850 que l'Allemagne, la France et les États-Unis commencent véritablement leur transition énergétique, c'est-à-dire accroissent leur consommation de charbon par habitant (figure 1.1a). En 1900, plus de 70 % des extractions mondiales de charbon étaient le fait de quatre pays : l'Angleterre, la France, l'Allemagne et les États-Unis. Dans le reste du monde, seuls quelques centres urbains industriels sont touchés par cette transition. En effet, les pays européens déjà entrés dans une phase d'industrialisation ont tout intérêt à utiliser le colonialisme pour empêcher les autres régions du monde de suivre la voie du développement industriel, afin qu'ils continuent à assurer la production de biens alimentaires et de matières premières bon marché, et qu'ils servent de marché secondaire pour écouler leur production industrielle.



**Figure 1.1.** Évolution de l'utilisation du charbon (a), de la fonte brute (b) et des réseaux ferrés (c) dans certains pays entre 1750-1830 et 1910.

Utilisation du charbon en termes d'équivalent de forêt virtuelle au Royaume-Uni.

Calculs effectués par les auteurs à partir de Mitchell (2003), Maddison (2008), Schandl et Krausmann (2007).

La Révolution industrielle et la prédominance d'un nouveau système énergétique sont étroitement liées à l'établissement d'un nouveau complexe technologique caractérisé par des interactions nombreuses et l'existence de boucles de rétroactions positives entre l'exploitation du charbon, la machine à vapeur, la production de fer et d'acier, et le chemin de fer (Grübler, 1998 : 207). La machine à vapeur a d'abord été utilisée pour pomper l'eau et a ainsi permis d'accéder à du charbon profondément enfoui, ainsi que de réduire les coûts d'extraction. Son utilisation a alors favorisé l'accroissement de la production de fer et, à partir de 1870, d'acier de haute qualité. Ces grandes quantités de fer (et plus tard d'acier), ainsi que le développement des machines à vapeur ont rendu possible une révolution dans les transports, notamment du chemin de fer et des bateaux à vapeur.

Le développement de la consommation de charbon, de la production de fonte brute et des réseaux de chemin de fer, au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, témoigne de l'avance du Royaume-Uni (figure 1.1), ainsi que du rattrapage qu'opèrent un peu plus tard

l'Allemagne ou les États-Unis. Entre 1840 et 1860, des réseaux de chemin de fer sont construits dans de nombreux pays. Combinés aux bateaux à vapeur, ils rendent possible, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, l'échange à longue distance entre des populations produisant des biens alimentaires et celles, de taille croissante, nécessitant ces biens alimentaires, car engagées dans la production industrielle. Désormais, la croissance des villes ne connaît plus de limite.

Les machines à vapeur convertissent l'énergie thermique en énergie mécanique, ce qui permet d'accroître formidablement la puissance disponible par rapport au régime métabolique précédent. Ces changements radicaux dans les capacités d'extraire, de transporter, de transformer et de consommer de la matière donnent lieu à une nouvelle forme de métabolisme sociétal : en plus de la biomasse, d'énormes quantités de charbon, de matériaux de construction et de minerai sont extraites. Au Royaume-Uni, par exemple, l'utilisation de matériaux passe de 60 à 400 millions de tonnes par an entre 1750 et 1900. Durant cette période, l'utilisation de matière et d'énergie augmente plus rapidement que la population. Pour la première fois dans l'histoire, la demande pour du travail non agricole croît rapidement : les performances des vastes équipements mus par l'énergie tirée du charbon génèrent un fort besoin en main-d'œuvre pour la production manufacturière. Durant cette phase, l'accroissement de consommation de matière et d'énergie par habitant ne se traduit pas par une amélioration du niveau de vie des masses, mais bénéficie d'abord à l'expansion de l'industrie et des exportations. L'environnement des citadins, lui, se dégrade.

Dans son étude globale de l'histoire environnementale au xx<sup>e</sup> siècle, John McNeill fait référence à Charles Dickens pour décrire cette phase comme la période Coketown (McNeill, 2000 : 296). Celle-ci est caractérisée par des villes industrielles en expansion peuplées de cheminées avec leurs fumées âcres, leurs cours d'eau pollués, leurs sinistres quartiers de pauvres et d'ouvriers. L'utilisation croissante de matière et d'énergie s'accompagne d'un accroissement d'émissions de gaz toxiques, d'effluents et de déchets, générant de nouveaux types de problèmes environnementaux et dégradant la qualité de la vie, particulièrement dans les centres urbains industriels densément peuplés. Au cours de cette période, les pollutions de l'air et de l'eau, de même que les problèmes d'hygiène et de santé afférents deviennent transrégionaux. Des mesures telles que la construction de cheminées plus hautes ou de réseaux de canaux permettent de disperser et de diluer certains polluants, mais ne font que diminuer leur impact local.

La phase charbonnière du développement est une première étape vers l'émancipation du système énergétique vis-à-vis de l'espace, repoussant un peu plus loin les limites de la croissance économique. Rolf Peter Sieferle (2001) a évoqué cette idée en parlant de « forêts souterraines ». Il a montré que, dès 1850, l'énergie (en termes de valeur calorique) dégagée par le charbon brûlé chaque année au Royaume-Uni était équivalente à celle produite par une forêt virtuelle de la taille du pays entier, et à quatre fois cette surface en 1900 (voir figure 1.1d).

Pour autant, le charbon n'émancipe pas de toutes les contraintes prévalant dans le système énergétique solaire. Les humains restent en effet totalement dépendants de la biomasse pour leur alimentation. Le début de l'industrialisation est marqué par un accroissement de la population (en Angleterre, elle double entre 1750 et 1900), principalement employée (y compris les femmes et les enfants) dans les secteurs non

agricoles de l'économie. L'accès à une énergie inanimée toujours plus abondante n'a donc pas remplacé le travail humain, mais a au contraire alimenté sa demande. De même, les réseaux ferrés n'ont pas remplacé les animaux de traits : le maillage ferroviaire et l'intensification du fret de marchandise et du transport des hommes ont nécessité plus d'animaux de traits (chevaux surtout) pour assurer la distribution locale et le transport régional. Alors que le charbon a continué de remplacer le bois de chauffage, la construction de voies ferrées et l'industrie papetière naissante ont nécessité toujours plus de bois. Paradoxalement, la transformation du système énergétique s'accompagne donc d'un accroissement de la demande en biomasse pour nourrir hommes et bêtes, ainsi que pour alimenter en matières premières les nouvelles industries. Dans le même temps, il n'a plus été possible d'étendre les terres cultivables et les moyens pour augmenter les rendements se sont avérés limités, notamment par manque chronique d'engrais. Bien que le guano, le salpêtre chilien ou le superphosphate soient utilisés de plus en plus intensément à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les volumes restent faibles et limités à certaines cultures (oranges, tabac). Les apports de nutriments aux plantes reposent donc toujours sur des ressources internes aux exploitations agricoles (fumier, légumineuses, etc.). Ainsi, les limites fondamentales de l'agriculture traditionnelles demeurent, en dépit de certaines innovations biologiques (nouvelles variétés ou pratiques culturales). En Angleterre par exemple, où ces innovations ont été mises en place précocement, elles ont été suivies d'une stagnation des rendements du blé nécessitant, au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, l'importation des denrées alimentaires des colonies d'outre-mer, de Russie ou des États-Unis (Krausmann *et al.*, 2008b).

Dans ce dernier pays, entre 1850 et 1920, plus de 100 millions d'hectares de terres de très bonne qualité sont appropriés dans le Midwest, après l'expulsion violente des populations indigènes (Cunfer, 2005). Les sols des Grandes Plaines, très riches en nutriments, permettent alors d'obtenir des rendements élevés avec peu de travail, générant une productivité du travail extraordinairement forte. Une petite population rurale peut ainsi nourrir celle des côtes américaines, et même exporter une partie de la production vers l'Europe. Aux alentours de 1880, les États-Unis exportent déjà plus de 4 millions de tonnes de céréales, permettant de subvenir aux besoins nutritifs de plus de 20 millions de personnes (Krausmann et Cunfer, 2009).

Ce développement est aussi étroitement lié à celui des grappes technologiques de l'ère Coketown, puisqu'il dépend de l'expansion des réseaux ferrés et du bateau à vapeur, de l'approvisionnement en charbon des populations vivant dans des plaines peu boisées mais au climat rigoureux, et enfin de l'accès à des équipements en acier permettant la mécanisation de l'activité agricole.

## ►► Pétrole et voiture : la *success story* américaine à partir de 1900

Durant la phase suivante d'industrialisation, les États-Unis ne doivent pas seulement leur position de leader à leur forte productivité agricole, mais aussi à une autre ressource : le pétrole. Avec la découverte d'importants gisements à Spindletop au Texas, l'utilisation du pétrole explose à partir de 1900 : en l'espace de trente ans, la

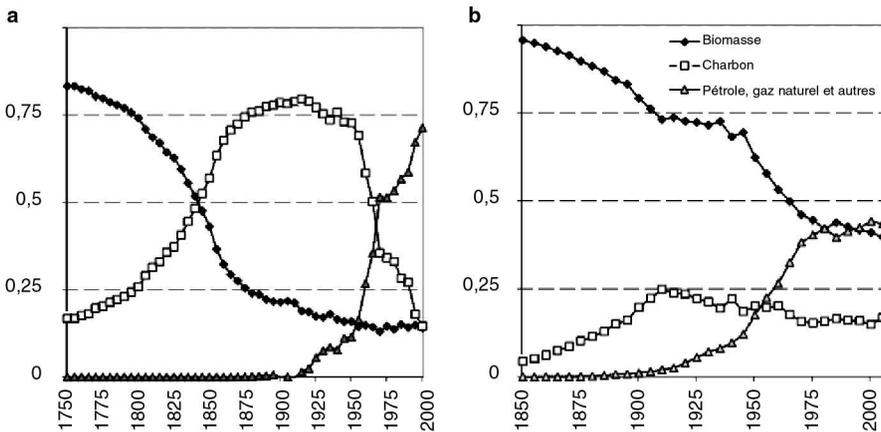
production pétrolière américaine passe de moins de 10 millions à 140 millions de tonnes par an, pour atteindre plus de 1,2 million de tonnes de pétrole par habitant et par an avant la crise économique des années 1930. Tout comme l'Angleterre avec le charbon, les États-Unis dominent le secteur de la production du pétrole durant toute la première moitié du xx<sup>e</sup> siècle, ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que l'exploitation des réserves énormes du Moyen-Orient évince les États-Unis de leur position dominante sur le marché mondial.

Le pétrole possède une densité énergétique supérieure à celle du charbon, coûte moins cher à exploiter, et, avec les bonnes infrastructures, peut être facilement transporté à moindre coût. De toutes les options possibles, le pétrole apparaît donc comme une source d'énergie idéale. Cependant, à la différence du charbon, les réserves de pétrole (mais aussi de gaz naturel) sont distribuées très inégalement sur la planète. Les pays industrialisés européens, qui avaient été si prospères jusqu'à présent, ne possèdent qu'une petite partie des réserves exploitables et doivent d'abord s'équiper d'infrastructures de distribution intensives en capital (tel que les pipelines, les pétroliers et les raffineries) pour pouvoir utiliser cette ressource. Une partie des profits issus de la production industrielle européenne se concentre ainsi dans d'autres parties du monde (et, initialement, notamment aux États-Unis). Ainsi, l'utilisation du pétrole redistribue les rapports de pouvoirs au niveau mondial.

L'utilisation du pétrole comme nouvelle source d'énergie s'est accompagnée de l'émergence d'un nouveau complexe technologique. McNeill a qualifié cette combinaison entre moteur à combustion, automobile et avion, industrie (pétro-chimique) et électricité de *Motown cluster* en référence au centre de l'industrie automobile des États-Unis (la *motor town* Detroit) (McNeill, 2000 : 297). L'individualisation et l'accélération des transports des hommes et des marchandises que provoque l'arrivée du moteur à combustion interne ont déclenché une nouvelle révolution des transports. De plus, l'électricité, une nouvelle forme d'énergie universellement utilisable, permet la mécanisation de nombreux processus technologiques *via* le moteur électrique. Mais le charbon, de même que la biomasse lors de la première phase, n'est pas complètement remplacé et continue de servir de base à la production d'acier et pour la production d'énergie thermique. Néanmoins, la consommation de charbon, qui atteint son plus haut niveau historique aux États-Unis en 1920 et dans les pays européens quelques décennies plus tard, n'a cessé de décroître depuis. Inversement, il n'a fallu que quelques décennies pour que le pétrole représente la moitié du flux d'énergie mondial (figure 1.2).

Le contexte économique qui a permis l'établissement d'un nouveau système énergétique aux États-Unis est constitué d'une combinaison d'énergie bon marché, de production à la chaîne et de croissance des revenus du travail. C'est ce que la littérature appelle le fordisme et qui a annoncé l'ère de la production et de la consommation de masse (von Gottl-Ottlilienfeld, 1924 ; Grübler, 1998)<sup>5</sup>. Les nouvelles technologies ont ainsi trouvé des applications dans des biens de grande consommation, de sorte que, désormais, les ménages atteignent des niveaux élevés de consommation d'énergie et de matière, avec un accroissement spectaculaire de leur

5. La notion de fordisme a aussi été largement utilisée et débattue dans les travaux régulationnistes français (voir par exemple Coriat, 1979) à partir d'un texte de Gramsci de 1929.



**Figure 1.2.** Établissement d'une nouvelle forme d'énergie (a) au Royaume-Uni (1750-2000) et (b) dans le monde entier (1850-2005).

Ces schémas présentent les parts dans la production d'énergie primaire de la biomasse (nourriture ou combustible), du charbon et du pétrole/gaz naturel (y compris autres formes d'énergies).

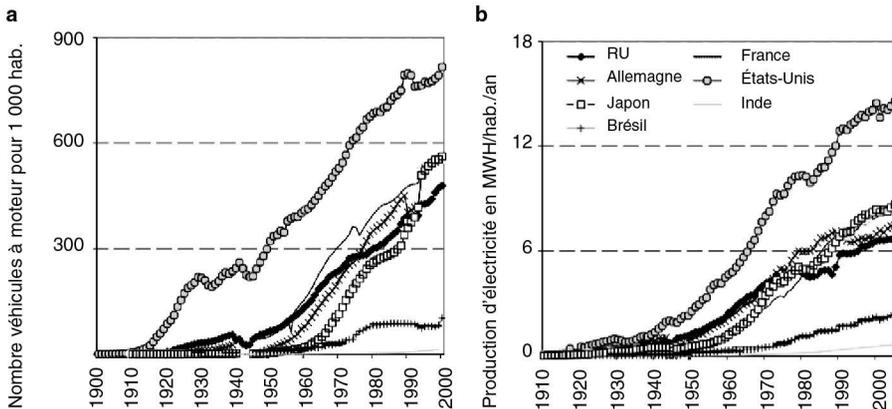
Données à partir de Schandl et Krausmann (2007), Krausmann *et al.* (2009), Podobnik (1999) et IEA (2007).

bien-être matériel. L'automobile, le chauffage central, les équipements électriques domestiques et la viande, produits intensifs en matière et en énergie, constituent les produits phares de cette période. En quelques décennies, ces produits deviennent très abordables pour toutes les couches sociales de la société. L'ensemble de leur consommation augmente donc, donnant naissance à l'*american way of life*. En Europe et au Japon, cette dynamique s'impose au lendemain de la Seconde Guerre mondiale (en partie du fait de l'aide américaine), causant un doublement de la consommation par habitant de matière et d'énergie (et des pollutions et déchets correspondants) en l'espace de vingt-cinq ans. Pour décrire cette croissance sans précédent du métabolisme sociétal, l'historien de l'environnement Christian Pfister parle de « syndrome des années 1950 ». Pfister montre qu'entre la Seconde Guerre mondiale et la première crise pétrolière, les rapports nature-société se sont fondamentalement modifiés (Pfister, 2003). Ce nouveau régime socio-métabolique s'appuie sur trois « forces » : la rapide baisse des prix relatifs de l'énergie, ce qui réduit son importance dans les coûts de production ; des investissements publics dans la construction de réseaux électriques, de transports et de pipelines<sup>6</sup> ; une nouvelle forme de gouvernement (l'État providence) garantissant des revenus du plus grand nombre (Lutz, 1989)<sup>7</sup>. En Europe, ce régime socio-métabolique est impulsé par la reconstruction après la Seconde Guerre mondiale. Au total, le « syndrome des années 1950 » permet un rattrapage des niveaux de développement et une diffusion de l'*american way of life* dans les pays de l'Europe de l'Ouest, au Canada, en Australie et au Japon. Initialement, le reste du monde demeure à l'écart.

6. Dans les années 1930, la politique du *New Deal* permet la construction d'un million de kilomètres d'autoroutes et de 77 000 ponts aux États-Unis. À partir de 1956, avec l'aide du Federal Highway Aid Program, le pays a été maillé d'un vaste réseau autoroutier.

7. Sur ce point, voir le chapitre 21 et, en français, sur la genèse de l'État providence, Ewald (1986).

La voiture est le plus important des facteurs de transformation du métabolisme sociétal du  $xx^e$  siècle. Elle fonde les bases d'une nouvelle révolution des transports : avec plusieurs milliers de mètres par  $km^2$ , le réseau routier est plusieurs fois plus dense que le réseau ferroviaire ; les animaux de trait, moyen de distribution indispensable pour les réseaux de transports centralisés, deviennent superflus. Après la Seconde Guerre mondiale, les pays industrialisés voient leurs flottes de véhicules augmenter rapidement. Dès 1970, chaque pays européen a entre 250 et 350 véhicules pour 1 000 habitants (et au moins deux fois plus aux États-Unis – voir figure 1.3.). Les voitures bon marché permettent, pour la première fois, un accès généralisé au transport individuel. La production automobile devient ainsi le premier secteur industriel, fondamental pour que ce nouveau régime puisse s'établir. Ce système de transport génère directement ou indirectement d'énormes flux de matière et d'énergie (Freund et Martin, 1993) : en moyenne, 30 tonnes de matériaux sont requis pour produire une voiture. Aux États-Unis, dans les années 1990, 10 à 30 % des métaux et les deux tiers du caoutchouc étaient utilisés dans l'industrie automobile. De plus, chaque kilomètre d'autoroute nécessite en moyenne 40 000 tonnes de ciment, d'acier, de sable et de graviers, et les réseaux routiers prennent 10 à 15 fois plus d'espace que les voies ferrées. Au cours de cette phase, le transport surpasse l'industrie comme premier secteur consommateur direct d'énergie. La consommation de carburant devient, avec le chauffage, le facteur le plus important dans la consommation d'énergie des pays industrialisés.



**Figure 1.3.** Stock de véhicules (a) et production électrique (b) au  $xx^e$  siècle.

Données calculées par les auteurs, à partir de Mitchell (2003) et Maddison (2008).

La production d'électricité ne dépend pas d'une source primaire particulière. Elle a d'abord été produite à partir de ressources hydriques, puis dans des centrales thermiques fonctionnant au charbon, au pétrole, au gaz naturel, avec des déchets, ou, à partir des années 1960, dans des centrales nucléaires. L'électrification de masse est devenue, au  $xx^e$  siècle, un prérequis fondamental pour le développement industriel et un niveau de vie élevé. L'augmentation constante de la demande en électricité accompagne la croissance économique. Actuellement, chaque pays industrialisé consomme en moyenne 8 à 10 MKh par habitant et par an, sauf aux États-Unis où

la consommation est double (voir figure 1.3). La production d'électricité nécessite d'importantes quantités d'énergie car 60 % d'énergie primaire est perdue dans les processus de génération et de transmission. Dans les pays industrialisés, 20 à 25 % de l'énergie primaire consommée est utilisée dans la production électrique. En fonction des ressources dont ils disposent, ces pays choisissent différentes voies de production : hydroélectrique (Autriche, Suède), nucléaire (France), plus fréquemment à partir du charbon (spécifiquement pour les pays nouvellement industrialisés comme la Chine ou l'Inde). Les deux tiers de la production mondiale de charbon sont ainsi utilisés dans des centrales thermiques. Chacune de ces technologies a des impacts négatifs spécifiques sur l'environnement : l'hydroélectricité représente une perturbation dans le fonctionnement des écosystèmes ; les centrales thermiques contribuent aux émissions de CO<sub>2</sub> ; l'énergie nucléaire implique de nombreux risques (voir les incidents de Three Miles Island en 1979 aux États-Unis et de Tchernobyl en 1986 en Ukraine) et continue de poser des problèmes de stockage des déchets radioactifs. Aujourd'hui<sup>8</sup>, environ 15 % de l'électricité est d'origine nucléaire et 56 % de celle-ci est produite par trois pays (les États-Unis, la France et le Japon).

L'électricité est universelle, facilement utilisable et permet l'éclairage, le chauffage ou l'accomplissement de tâches mécaniques. Les moteurs électriques permettent la mécanisation de processus complexes. Ils ont révolutionné les activités domestiques à travers la diffusion d'équipements comme les machines à laver, les lave-vaisselle ou les aspirateurs, et ont rendu les processus de production industrielle indépendants du travail physique humain. Finalement, les transistors et les puces d'ordinateurs ont donné lieu à la révolution des technologies de l'information et de la communication (téléphone, télévision et technologies informatiques)<sup>9</sup>.

## ► Les limites des transformations industrielles depuis les années 1970

Au début des années 1970, aux États-Unis, sur la base d'un modèle complexe simulant les interrelations globales entre dynamiques sociétales et économiques et leurs causes et conséquences naturelles, est publié un rapport au titre provoquant : *The Limits to Growth* (Meadows *et al.*, 1972, traduit en français par « Halte à la croissance ? »). La vraisemblance des résultats est éprouvée quelques années plus tard avec le premier choc pétrolier : en réaction à la guerre israélo-arabe de 1973, les pays de l'Opep réduisent leur production de pétrole, ce qui entraîne un accroissement du prix du baril de 3 à 5 dollars. D'autres crises pétrolières suivent en 1979 et 1990 (première et seconde Guerres du Golfe). De leur côté, les États-Unis atteignent, en 1970-1971, le *peak oil*, c'est-à-dire le niveau maximum d'extraction de pétrole

---

8. C'est-à-dire vers 2010, ce chapitre a été écrit avant l'accident nucléaire majeur de Fukushima (Japon) du 11 mars 2011.

9. Note des coordinateurs : la partie s'intitulant « la Révolution verte » (pages 354-355 de l'original) a été supprimée car traitée par ailleurs (chapitre 3). Les auteurs y soulignent que, grâce à son agriculture extrêmement productive, les États-Unis ont réussi à compenser au cours du XIX<sup>e</sup> siècle les faiblesses du modèle anglais (l'insuffisance de la production alimentaire relativement à la densité et à la croissance de la population) ; puis, avec le pétrole, un nouveau modèle agricole est apparu.

domestique, ce qu'avait annoncé M.K. Hubbert dès 1956 (Deffeyes, 2001). Ils deviennent dès lors importateurs nets de pétrole alors que les guerres coûteuses menées au Moyen-Orient n'ont pas vraiment permis de sécuriser leurs approvisionnements pétroliers. Enfin, le nucléaire, pourtant soutenu par des investissements massifs, n'a pas tenu ses promesses. L'énergie nucléaire s'est en effet révélée plus chère et plus longue à développer que prévu. Elle a également été remise en cause suite aux accidents de Three Miles Island (1979), de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011).

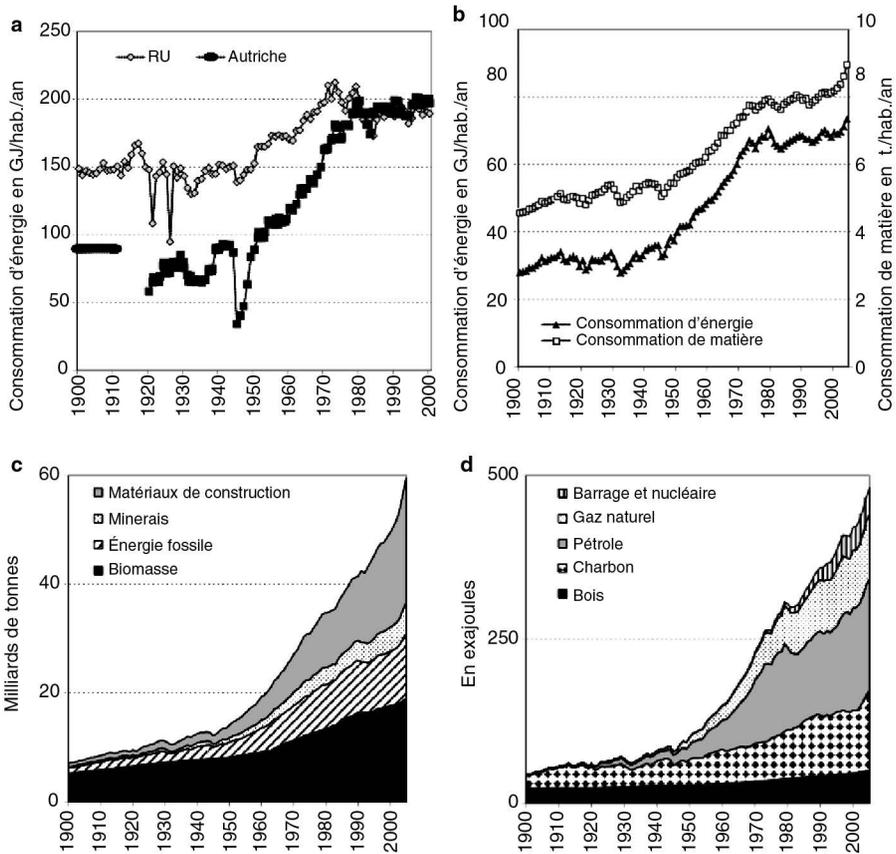
Un ensemble de mesures a été mis en œuvre à travers le monde pour réduire à la fois l'utilisation de pétrole et l'accroissement de la consommation d'énergie. Une chute brutale (mais brève) de l'utilisation d'énergie et de matériaux dans les pays industrialisés (voir figures 1.4a et 1.4b), suivie d'un arrêt de la croissance de la consommation par habitant ont ainsi eu lieu après 1973. Au cours des trois décennies suivantes, les dépenses en matière et en énergie des pays industrialisés se sont stabilisées à un niveau relativement élevé, mais les niveaux de consommation de l'Europe et du Japon ont arrêté de converger vers le niveau américain demeuré deux fois supérieur. Le Japon a initié une réorientation de son industrie automobile vers la production de véhicules plus petits et consommant moins d'énergie. L'industrie automobile américaine, au contraire, a continué d'adhérer à cette dynamique d'utilisation intensive des ressources, jusqu'à son effondrement lors de la crise de 2008.

Les années 1970 peuvent être considérées comme le début de la fin du régime socio-métabolique américain fondé sur un usage gaspilleur des ressources naturelles. Parallèlement, émerge un nouveau régime basé sur les NTIC (nouvelles technologies de l'information et de la communication), permettant potentiellement de satisfaire les besoins humains en utilisant moins de ressources.

Au cours de la seconde phase de la transition métabolique mondiale des cent dernières années, les flux de matière extraits par les humains ont augmenté de 8 à 60 millions de tonnes par an, et la consommation d'énergie primaire a augmenté de 50 et 480 EJ/an (figure 1.4c, 1.4d). Le quadruplement de la population mondiale explique en partie que le métabolisme sociétal soit devenu si important. La croissance de la consommation par habitant dans les pays industrialisés a cependant joué un rôle très important dans cette augmentation. La transition métabolique a également conduit à diversifier les matériaux utilisés<sup>10</sup>.

Le métabolisme industriel a engendré de nombreux problèmes, y compris au niveau mondial, et a conduit à une domination de la nature par les humains à un niveau jamais atteint. Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, aucun écosystème n'échappe à l'influence de l'homme et de nombreuses espèces et écosystèmes ont disparu ou sont menacés d'extinction (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Pour certains problèmes environnementaux, comme les cas de pollutions classiques dont l'industrialisation est la cause principale, des solutions technologiques peuvent exister : installation de dispositifs de recyclage des déchets, usage de filtres pour éliminer ou neutraliser certaines substances toxiques, processus de décomposition, etc. La résolution du problème de

10. Les équipements électroniques (comme les ordinateurs ou les téléphones portables) peuvent inclure jusqu'à soixante types de métaux différents. Dans la plupart des cas, étant donné la petite taille de ces composants, leur recyclage est impossible (Hilty, 2008 : 168).



**Figure 1.4.** Développement du métabolisme sociétal global. (a) Consommation d'énergie par habitant au Royaume-Uni et en Autriche, (b) consommation mondiale d'énergie et de matériaux par habitant, (c) consommation mondiale de matériaux, et (d) consommation mondiale d'énergie primaire par ressource.

Données basées sur Krausmann *et al.* (2008b, 2009).

Le trou dans la couche d'ozone illustre cette possibilité : cinq années seulement après sa découverte en 1985, le bannissement des chlorofluorocarbones était déjà acté et mis en œuvre au niveau international. Depuis, le trou dans la couche d'ozone a lentement diminué. De cette manière, avec le développement de nouvelles politiques environnementales, certains problèmes environnementaux majeurs ont pu être contenus ou évités. Cependant, ces politiques seules ne peuvent constituer des solutions à certains problèmes fondamentaux causés par la transition métabolique.

Les flux de matière générés par les activités humaines ont atteint un niveau qui est comparable au volume de matière converti par les processus biogéochimiques naturels de la planète : on estime ainsi qu'au début du *xxi*<sup>e</sup> siècle l'humanité s'approprie annuellement environ 30 % de la biomasse nouvellement produite (production primaire nette) et donc une grande partie des moyens d'existence de tous les organismes hétérotrophes (Haberl *et al.*, 2007). De même, les émissions de nitrogène

d'origine anthropiques ont plus contribué à la fixation de l'azote dans les écosystèmes terrestres que tous les mécanismes naturels (Galloway *et al.*, 2008). Certains scientifiques qualifient cette période de domination des écosystèmes par l'activité humaine d'ère de l'Anthropocène (Steffen *et al.*, 2007) (voir chapitre 2).

Tout cela survient à une époque où à peine un milliard de gens vivent selon un profil métabolique industriel, alors que les cinq milliards restant y aspirent en vivant, en partie, dans des conditions d'extrême pauvreté. Le tableau 1.1 montre les différences qui existent entre les profils socio-métaboliques de différents pays et met en évidence le couplage entre le revenu (mesuré en PIB par habitant) et la consommation de ressources.

Les États-Unis n'ont pas été les seuls à ignorer les signaux du début des années 1970. Les autres pays industrialisés ne les ont pas vus non plus. Il n'a pas été possible de remplacer la logique de consommation intensive de ressources du régime industriel par une nouvelle logique métabolique que serait censée porter une société de l'information et de la communication. Au contraire, les NTIC sont simplement venues s'ajouter au système existant. En ce sens, a été manquée l'opportunité de montrer aux pays émergents qu'un nouveau modèle de développement économique et technologique pouvait offrir une bonne qualité de vie à un coût écologique bien plus faible. Désormais, la dynamique des relations société-nature menace de conduire à des crises majeures si ce n'est à des catastrophes.

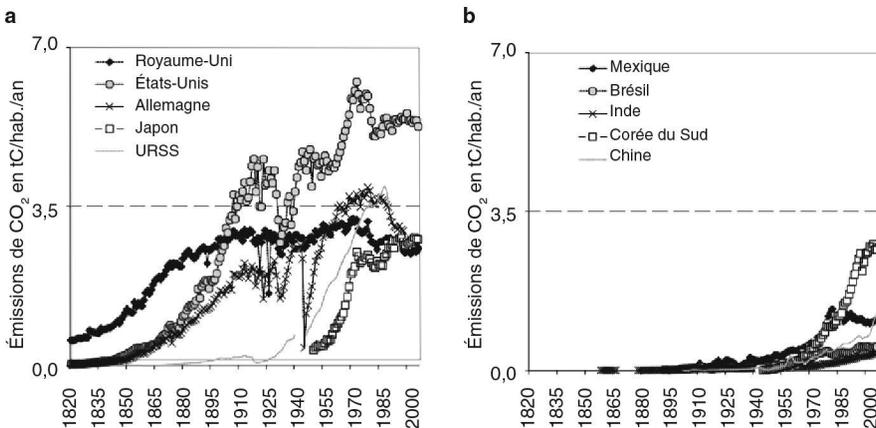
**Tableau 1.1.** Profils socio-métaboliques en 2000.

	PIB par habitant (revenu)	Consommation de matériaux	Consommation d'énergie	Émissions de CO <sub>2</sub>	Consommation d'électricité	Véhicules à moteur	Empreinte écologique
	\$/hab./an	t/hab./an	GJ/hab./an	tC/hab./an	GJ/hab./an	Pour 1 000 hab.	Ha/an
États-Unis	31 618	28	440	5,6	52	761	9,6
Japon	23 804	16	202	2,5	31	551	4,4
France	23 735	17	252	1,6	29	548	5,6
Allemagne	23 391	20	225	2,7	25	553	4,5
Royaume-Uni	22 560	12	214	2,6	24	418	5,6
Corée	14 010	15	208	2,5	20	223	4,1
Argentine	11 012	22	227	1,0	9	204	2,3
Mexique	8 231	15	117	1,0	7	144	2,6
Brésil	6 646	16	139	0,5	8	92	2,1
Chine	3 491	7	55	0,6	4	10	1,6
Inde	2 234	6	37	0,3	2	11	0,8

Sources : The World Bank Group (2007) pour le PIB en dollars constants pour l'année 2000, ajusté en parité de pouvoir d'achat ; Krausmann *et al.* (2008a) pour les consommations d'énergie et de matériaux ; Marland *et al.* (2007) pour les émissions de CO<sub>2</sub> ; IEA (2007) pour la consommation électrique ; United Nations Departments of Economic and Social Affairs (2004) pour le stock de véhicules à moteur ; Global Footprint Network (2006) pour l'empreinte écologique.

Si le processus de rattrapage dans lequel les deux tiers de la population mondiale se trouvent engagés implique d'atteindre le niveau de métabolisme des pays industrialisés, alors les extractions de ressources tripleront d'ici 2050. Fournir suffisamment de nourriture à une population en croissance et de plus en plus riche nécessitera d'accroître la pression sur les rares écosystèmes encore préservés et d'utiliser les sols cultivés de manière plus intensive. Un tel développement nécessitera forcément un retour au charbon (EIA, 2010). Cette tendance, qui semble déjà amorcée au niveau mondial, sera très coûteuse et pourra même mener à une catastrophe climatique. Pour ce qui concerne les eaux douces et les réserves d'eau potables, la situation dans de nombreuses régions du globe est déjà désespérée, avec un futur suspendu à la menace du changement climatique. Concernant d'autres ressources, comme les métaux précieux, la concurrence deviendra telle qu'elle accroîtra les risques de conflits armés. Le monde se trouve actuellement sur ce chemin de développement – autant que sur celui d'une crise économique mondiale qui pourrait renverser cette tendance.

Le Protocole de Kyoto a visé à amorcer ce changement de tendance, avec les mesures de restriction d'émissions de CO<sub>2</sub>, principal rejet du métabolisme industriel. Le CO<sub>2</sub> (avec d'autres gaz à effet de serre) est responsable d'une altération sans précédent des cycles biogéochimiques avec de graves conséquences sur le système climatique mondial. La croissance des émissions de ces gaz est une conséquence directe de la combustion des énergies fossiles. Actuellement, 8 Giga tonnes (Gt) de carbone sont émises chaque année dans le monde, ce qui représente une moyenne de 1,5 tonne par habitant. La figure 1.5 représente la progression des émissions de CO<sub>2</sub> dans certains pays industrialisés et en développement. L'évolution des émissions reflète étroitement les différentes phases de la transition métabolique globale. Le taux d'émission de l'Angleterre en 1750, début de la Révolution industrielle, était de 0,25 t de carbone par habitant et par



**Figure 1.5.** Émissions de CO<sub>2</sub> résultant de la combustion des énergies fossiles et de la production de ciment pour certains pays industrialisés (a) et du Sud (b).

Données en tonnes de carbone (C) par habitant et par an, basées sur Marland *et al.* (2007) pour les émissions de CO<sub>2</sub> et Maddison (2008) pour la population.

an. Ce taux double une première fois pour atteindre 0,5 t/hab./an en 1800 et une deuxième fois à 1 t/hab./an en 1850. Les autres pays européens et les États-Unis suivent la même trajectoire après 1850. Une autre course au rattrapage a eu lieu au milieu du xx<sup>e</sup> siècle, lorsque les nations qui voulaient s'industrialiser en Europe (l'URSS), en Asie (le Japon, puis la Corée du Sud) et en Amérique latine (le Mexique) ont fortement augmenté leurs émissions de CO<sub>2</sub> en l'espace de deux ou trois décennies. Pour la grande majorité des autres pays, cependant, ce processus n'était pas encore survenu ; au début du xxi<sup>e</sup> siècle, de grandes économies comme l'Inde ou le Brésil continuent d'avoir des taux d'émission inférieurs à 0,5 t/hab./an. Aujourd'hui, un pays industrialisé émet en moyenne 3,5 t/hab./an, alors que tous les autres pays émettent en moyenne 0,5 t/hab./an. Respecter les objectifs de garder le réchauffement climatique sous les deux degrés d'augmentation nécessiterait de réduire les émissions moyennes à 1,3 t/hab./an (IPCC, 2007)<sup>11</sup>.

## ► Conclusion

Au début du xxi<sup>e</sup> siècle, coexistent des conceptions très différentes sur les manières de résoudre la crise écologique mondiale (dans certains cas, l'existence même de cette crise est contestée). Il y a ceux qui placent tous leurs espoirs dans la technologie en pensant qu'elle permettrait de continuer à suivre le chemin de la croissance économique que nous avons suivi jusqu'à présent. Ainsi, comme par le passé, des solutions technologiques « en fin de chaîne », comme la géo-ingénierie, permettraient de régler le problème du changement climatique (IPCC, 2005). D'autres comptent sur les gains d'efficacité permettant d'économiser de l'énergie et de la matière dans les processus de production, ce qui devrait déconnecter le métabolisme sociétal de la croissance économique (Weizsäcker *et al.*, 1995). Il serait ainsi possible de conserver une croissance économique tout en réduisant son impact sur le climat et sur l'environnement, en adoptant un mode de vie basé sur une consommation réduite ainsi que sur l'utilisation de sources énergétiques décarbonées (énergie solaire, éolienne ou nucléaire). Enfin, d'autres remettent plus radicalement en cause le paradigme de la croissance (décroissance) et en appellent à un nouveau modèle de société assurant les conditions biophysiques compatibles avec une population mondiale croissante sur le long terme (Jackson, 2009).

Une perspective socioécologique de long terme ne permet pas de trancher clairement ces débats, mais fournit quelques pistes. Il est en effet évident que la forte demande des sociétés industrielles en énergie et en matière est structurellement déterminée et ne peut être réduite à un usage plus frugal des ressources. Dans le régime socio-métabolique industriel, le développement économique et le métabolisme sont étroitement liés, et les gains de productivité générés (parfois énormes) n'ont jamais permis de réduire le métabolisme, mais l'ont au contraire toujours augmenté (Ayes et Warr, 2009). Une perspective historique montre que des solutions ont souvent été trouvées par le passé, mais que ces solutions ont généré de nouveaux problèmes.

11. Les émissions de la Chine (7,6 t/hab./an en 2013) donnent une idée de l'ampleur de l'effort à accomplir.

Enfin, la société doit reconnaître que la croissance matérielle rencontre des limites et qu'il est d'autant plus important de découpler la qualité de la vie humaine de l'utilisation de matière et d'énergie. Ceci ne pourra survenir au moyen des seules technologies, mais nécessitera des changements sociétaux plus profonds. Ceux qui militent pour le concept de développement durable croient qu'il serait sage d'organiser de manière proactive ces changements.

Traduit de l'anglais par Gaël Plumecocq.