

La transformation de la relation sociale à l'énergie du fordisme au capitalisme néolibéral

Une exploration empirique et macro-économique comparée dans les pays riches (1950-2010)

Louison CAHEN-FOUROT¹, Cédric DURAND²

¹ Centre d'Économie de Paris-Nord, Université Paris-13. louison.cahenfourrot@gmail.com

² Centre d'Économie de Paris-Nord, Université Paris-13. cdurand@ehess.fr

RESUME

Dans cette communication nous examinons le rapport social à l'environnement au sein du régime d'accumulation fordiste et du capitalisme financiarisé et mondialisé qui s'est mis en place depuis les années 1970. L'objectif est d'identifier des ruptures dans le champ des relations entre économie et environnement qui accompagneraient les transformations observées dans d'autres domaines. Pour cela nous procédons à une analyse empirique et comparatiste de l'utilisation de l'énergie dans les principales économies à haut revenu (l'Allemagne, les Etats-Unis, la France le Japon et le Royaume-Uni) entre 1950 et 2010. Le Fordisme se caractérise par une utilisation extensive de l'énergie et une utilisation intensive du travail. Les forts gains de productivité de ce dernier sont alimentés notamment par une augmentation rapide de la quantité d'énergie incorporée au processus de production. À partir de 1970, le ralentissement de la croissance de la quantité d'énergie et de l'efficacité thermodynamique coïncident avec le ralentissement de la productivité du travail et contribuent à l'érosion du compromis social fordiste. L'émergence du Néolibéralisme se traduit par une restauration de la part du capital dans le partage de la valeur ajoutée et s'accompagne, d'une part, d'une utilisation de plus en plus intensive de l'énergie, la productivité de celle-ci se mettant à augmenter fortement dans les principaux pays à haut revenu et, d'autre part, par la délocalisation de l'utilisation de l'énergie.

Mots-clés: rapport social à l'environnement, théorie de la régulation, économie écologique, Fordisme, Néolibéralisme, régime d'accumulation, exergie, travail utile

INTRODUCTION

L'intégration de la question environnementale à la théorie de la régulation (TR) reste un chantier largement ouvert. Même si certains travaux récents traitent du rapport social à l'environnement dans une perspective régulationniste (Chester, 2010; Zuindeau, 2007; Zuindeau et al., 2012, Douai et Montalban, 2012, Durand et Légé, 2013) il est révélateur que les termes de « nature », d'« environnement » ou d'« écologie », n'apparaissent pas, au printemps 2015, dans la notice Wikipédia consacrée à la Théorie de la Régulation.

Dans cette communication nous nous proposons d'examiner le rapport social à l'environnement dans le contexte du régime d'accumulation fordiste analysé classiquement par les auteurs régulationnistes (Aglietta, 1997; Boyer et Saillard, 2002; Mazier et al., 1993) et du régime financiarisé et mondialisé qui s'est mis en place depuis les années 1970. Ce dernier régime que nous qualifions, à la suite de nombreux auteurs (notamment Duménil et Lévy, 2014, Harvey, 2014, Husson, 2012), de capitalisme néolibéral se caractérise en particulier par l'érosion de l'État social et de l'État producteur au profit d'un État organisateur des marchés, par la libéralisation des flux de capitaux, des biens et de services ainsi que par l'émergence de la finance comme secteur dominant de l'économie.

L'objectif est d'identifier ce qui distingue ces deux régimes du point de vue des relations entre économie et environnement. Pour cela nous procédons à une analyse empirique et comparatiste centrée sur les principales économies à haut revenu (l'Allemagne, les Etats-Unis, la France le Japon et le Royaume-Uni) entre 1950 et 2010 et nous nous focaliserons sur la dimension énergétique du rapport social à l'environnement. Les statistiques descriptives présentées sont construites à partir, d'une part, de données sur l'*exergie* et le *travail utile* (Ayres et Warr, 2005; Serrenho et al., 2014) encore peu utilisées dans la littérature en économie de l'environnement et, d'autre part, de séries longues sur le CO2 importé calculées à partir des tables *input-output* disponibles depuis peu (Moran et al., 2013).

La première section va discuter l'articulation du rapport social à l'environnement à l'appareil conceptuel régulationniste. Elle s'appuie sur les travaux régulationnistes pionniers et sur les apports des historiens de l'environnement. La seconde section expose les enjeux méthodologiques de la mesure de l'utilisation et de l'efficacité de l'énergie à partir d'une discussion critique des travaux récents de l'économie écologique. La troisième section présente des faits stylisés permettant de distinguer la période fordiste et la période néolibérale dans leur dimension environnementale. La quatrième discute les rapports entre travail, capital et énergie dans ces deux régimes d'accumulation.

A. LE RAPPORT SOCIAL A L'ENVIRONNEMENT DANS UNE PERSPECTIVE REGULATIONNISTE

A.1. L'INTERACTION ENTRE L'HUMANITE ET L'ENVIRONNEMENT EN TANT QUE RAPPORT SOCIAL

Une des premières tentatives de théoriser le rapport social à l'environnement dans la TR revient à Becker et Raza (1999 ; voir aussi Rousseau, 2002 et 2003) qui le considèrent comme une sixième forme structurelle des modes de régulation du capitalisme. A la suite des résultats des économistes écologistes (Georgescu-Roegen, 1971 ; Martinez-Alier, 1987), Becker et Raza considèrent que la dimension physique de l'interaction entre l'humanité et son environnement est soumise à une contrainte thermodynamique: les activités productives impliquent une extraction d'énergie et de matière et la dissémination de résidus des activités économiques dans l'environnement ; ces interactions physiques doivent être mises en rapport avec le caractère fini du stock d'un certain nombre de ressources et la capacité limitée des écosystèmes à absorber l'impact des activités humaines. Pour autant, les rapports entre les sociétés humaines et

l'environnement ne peuvent être réduits à leurs seules dimensions biophysiques car la nature est une construction sociale. Trois points sont ici décisifs pour engager une réflexion économique.

Le premier consiste à souligner que si le monde non-humain supporte pleinement la matérialité du monde humain, il est en même temps en partie façonné par les activités humaines. Les ressources ont non seulement une dimension physique mais également une dimension sociale: elles ne deviennent des ressources que par la mise en œuvre d'activités humaines qui les requièrent. L'impact des êtres humains sur l'environnement n'existe ainsi qu'au travers des rapports sociaux qui organisent les activités humaines.

La nécessité de socialiser le rapport humain à l'environnement tient aussi au fait que ce rapport est le support et le produit de conflits sociaux (Douai et Montalban, 2012). Comme le dit le titre d'un ouvrage récent du sociologue Razmig Keucheyan, *La nature est un champ de bataille* (2014), rapports sociaux de race, rivalités militaires, appropriation financière sont quelques unes des lignes de fronts autour desquels des groupes humains s'opposent aujourd'hui dans leur relation à l'environnement. Les conflits récurrents à différentes échelles pour l'accès aux ressources environnementales en sont une expression plus large, qui s'exprime notamment, depuis la fin du XVIII^{ème} siècle, dans l'échange écologique inégal entre les métropoles du capitalisme mondial et les périphéries (Bonneuil et Fressoz, à paraître ; Hornborg, 2012, Moran et al., 2013). Le rapport à l'environnement est donc un rapport social qui doit être historicisé et spatialisé mais également politisé dans ses représentations comme dans sa matérialité.

Le rapport à l'environnement est enfin un rapport contradictoire dans la mesure où il peut entraîner la dislocation des formations sociales (Diamond, 2006), même si l'analyse en termes d'écocide est critiquable (Hunt, 2007; Tanuro, 2012). Dans le cadre du mode de production capitaliste, James O'Connor (1988) désigne par le terme de *seconde contradiction* écologique l'interaction problématique entre la nature et la dynamique capitaliste. Ce qui est ici spécifique ce n'est pas l'existence de barrières environnementales qui bornent les possibilités matérielles d'existence de toutes les sociétés humaines, mais la forme que prend cette contradiction au sein du capitalisme, à savoir une crise économique lorsque la dégradation des conditions environnementales de production se traduit par des hausse de coûts de production conduisant à la diminution des taux de profit. On retrouve chez cet auteur l'idée polanyienne de marchandise fictive (Polanyi, 2009) pour souligner que la nature se trouve incorporée dans le processus de valorisation du capital, comme n'importe quelle autre marchandise, alors même que les mécanismes de sa reproduction résultent de processus irréductibles au travail humain socialisé sous le contrôle du capital.

En résumé, les formes et l'intensité physique de l'utilisation de la matière et de l'énergie au cours des activités humaines varient dans l'espace et dans le temps en raison de la régulation socio-politique auxquelles elles sont soumises. Si cela est vrai en général, d'un point de vue transhistorique, dans le contexte du mode de production capitaliste cela signifie que les divers régimes d'accumulation du capital s'appuient sur des modalités spécifiques de la relation sociale à l'environnement. Dans cette perspective, la relation sociale à l'environnement est une forme structurelle au même titre que les autres formes considérées classiquement par les régulationnistes (État, monnaie, rapport salarial, insertion internationale, concurrence). Cette sixième forme structurelle régule « *l'accès à l'environnement physique et les modalités de son utilisation pour les activités de production et de reproduction. Elle régule donc également la distribution spatiale et temporelle des coûts et bénéfices écologiques de ces activités (re-)productives* » (Becker et Raza, 2000, p. 11). Elle manifeste l'existence d'une contrainte écologique sur la reproduction capitaliste d'ensemble et donne lieu au sein du régime d'accumulation à des conflits socio-politiques entre classes et fractions de classe, entre entités politiques et entre firmes. Cette contrainte et les conflits qui s'y rapportent occupent selon les régimes d'accumulation une place plus ou moins importante dans la hiérarchie des formes institutionnelles. L'interdépendance entre cette forme structurelle et les autres formes identifiées par la Régulation (Boyer, 1995) peut contribuer à contenir les contradictions qui sous-tendent chacune d'elles, par exemple grâce à l'accès à de nouvelles ressources ou, au contraire, les

accentuer au point de contribuer à l'entrée en crise du mode de développement dans son ensemble comme l'envisage O' Connor.

A.2. L'APPORT DES HISTORIENS DE L'ENVIRONNEMENT

Les travaux d'inspiration régulationniste traitant des questions environnementales mettent le plus souvent l'accent sur les réglementations, normes et pratiques économiques qui interfèrent directement avec l'environnement. C'est par exemple le cas de l'article de Rousseau et Zuindeau (2007) qui examine de manière critique les rapports entre développement durable et capitalisme et, plus encore, de Elie et al. (2012) qui proposent une analyse empirique de la *diversité des dispositifs institutionnels de l'environnement* (DIE). Les DIE sont définis comme « l'ensemble des institutions dédiées à la régulation des problèmes environnementaux. Ce sont les quotas, normes, taxes, subventions, instruments de marché ayant comme objectif la régulation des conflits liés à l'accès (ce qui inclut la préservation) aux biens et services écosystémiques. » (p. 7). Les auteurs analysent les DIE pour des pays de l'OCDE et parviennent en partie à faire ressortir des correspondances avec le modèle des cinq capitalismes de Amable (2005).

Les DIE peuvent donc être considéré comme une traduction empirique partielle de la sixième forme structurelle dès lors que celle-ci est envisagée comme la codification en normes et politiques du rapport social à l'environnement. Il n'en incarne cependant pas la totalité, non seulement parce qu'il n'en capture que la dimension nationale et codifiée mais, plus encore, car il risque de privilégier une lecture formelle de la relation sociale à l'environnement au dépens d'un examen aussi bien qualitatif que quantitatif du métabolisme économique-écologique. Cette préoccupation est centrale dans le travail de Mitchell (2013, 2009) et de nombreux historiens de l'environnement qui s'efforcent de mettre en regard les usages des ressources et les effets socio-politiques qui leur sont associés pour construire une histoire environnementale ancrée dans les configurations économiques, technologiques et sociales (Fressoz et al., 2014).

Mitchell se focalise sur la question des ressources énergétiques. Il considère que celles-ci contribuent de manière décisive à façonner les régimes politiques et économiques par leurs caractéristiques propres et les technostructures qu'elles engendrent. Autrement dit, des dispositifs politico-technique et énergétique particuliers participent à la régulation des régimes d'accumulation. Les démocraties occidentales, explique l'auteur, doivent en grande partie leur émergence à l'économie du charbon du XIX^e et de la première moitié du XX^e siècles. Trois caractéristiques de l'exploitation du charbon ont permis d'approfondir la démocratie : premièrement, l'exploitation du charbon impliquait une forte concentration de travailleurs, favorisant ainsi l'émergence de mouvements sociaux de masse. Deuxièmement, l'autonomie relative des travailleurs du charbon au fond de la mine plaçait l'expertise de la production d'énergie entre leurs mains plutôt qu'entre celles de l'encadrement. Troisièmement, le charbon était dépendant du chemin de fer pour son acheminement vers les industries. Selon Mitchell, ces caractéristiques permettaient de bloquer facilement la production et la distribution de charbon. Cela favorisait ainsi l'établissement de rapports de force permettant de faire avancer un certain nombre de revendications en matière de droits sociaux et politiques. C'est ainsi qu'émergèrent les premières *démocraties du carbone* entre la fin du XIX^e siècle et la Seconde Guerre mondiale.

Au sortir de celle-ci le pétrole remplaça le charbon comme source d'énergie principale. Ce changement dans la forme d'énergie dominante est également l'un des piliers du compromis social fordiste et du capitalisme des Trente glorieuses: l'abondance d'une énergie bon marché. Le pétrole accéléra l'émergence de vastes industries mécanisées initiées à l'âge du charbon, ce qui favorisa la diffusion du rapport salarial et la cristallisation institutionnelle d'acquis sociaux en raison du pouvoir structurel dont dispose les travailleurs dans ces dispositifs productifs et des forts gains de productivité du travail (Silver, 2003). L'industrie archétypique de ce moment est l'industrie automobile, véritable pilier du compromis social fordiste.

L'exploitation et la distribution de pétrole n'ont cependant pas les mêmes caractéristiques que celles du charbon. La production de pétrole implique peu de main d'œuvre tandis que sa distribution se fait quasiment sans intervention humaine dans les supertankers et les oléoducs qui le transportent sur des milliers de kilomètres. Le pouvoir politique des travailleurs de l'énergie s'est donc trouvé amoindri ; dévitaliser « les forces ouvrières communistes liées au charbon » (Bonneuil, 2015, p. XX) est d'ailleurs un des objectifs du développement du pétrole en Europe après-guerre. Plus tôt dans le siècle, à l'arrivée de Winston Churchill à l'Amirauté britannique en 1911, la Navy avait renouvelé sa flotte en passant de navires propulsés au charbon à des navires propulsés au mazout. Cela permit de s'émanciper des revendications politiques des travailleurs du charbon après les grandes contestations ouvrières de 1910-1914, que Churchill avait été chargé de réprimer lorsqu'il travaillait au ministère de l'intérieur (Mitchell, 2013). Pour Mitchell, les caractéristiques du pétrole favorisent ainsi l'émergence de modes de gouvernement technocratiques éloignant la prise de décision du débat démocratique. L'énergie pétrolière a donc un effet ambigu sur le régime d'accumulation fordiste: elle le permet par son abondance et son faible coût mais fragilise les rapports sociaux qui le présupposent par les caractéristiques de sa production.

D'importantes reconfigurations interviennent dans la production de pétrole au début des années 1970. Sous pression des pays producteurs du Moyen-Orient qui revendiquaient une hausse substantielle du prix du pétrole et désireuses d'éviter une contagion après la nationalisation de la production pétrolière en Irak, les compagnies pétrolières changèrent le mode de calcul des réserves de pétrole en 1971. Jusque-là considérées comme infinies, les réserves devinrent considérées comme un stock de ressources fini, ce qui légitima la hausse des prix du pétrole. L'ère de l'abondance du pétrole bon marché toucha à sa fin et l'un des piliers du régime d'accumulation fordiste s'écroula. En parallèle, la régulation du régime d'accumulation fut également fragilisée. Comme l'explique Mitchell, « *Les succès obtenus dans l'augmentation des prix du pétrole portèrent un rude coup à la gestion keynésienne de l'économie, ouvrant la voie au développement de dispositifs fondés sur le marché, présentés comme une alternative à un « excès » de démocratie et aux « échecs » du gouvernement démocratique* » (2013, p. 235). Cela favorisa l'abandon du système monétaire international hérité des accords de Bretton Woods, qui subissait les tensions sur les réserves d'or des Etats-Unis, et la dérégulation progressive des taux de changes et des flux de capitaux. C'est une des origines clefs de la mondialisation financière. Si les travaux régulationnistes montrent que l'entrée en crise du régime fordiste est manifeste dès la seconde moitié des années 1960 à travers le ralentissement de la productivité du travail (Loiseau et al., 1977; Vidal, 2003), le travail de Mitchell souligne que les transformations de la dimension énergétique du rapport social à l'environnement ajoutèrent à la déstabilisation de ce régime, et ce de manière particulièrement nette dans les années 1970.

L'hypothèse centrale de Mitchell est que le rapport social à la nature participe pleinement des rapports de classe: la répartition des gains associés à l'énergie dépend du pouvoir de négociation des travailleurs de cette énergie. Les conditions de production et de distribution du charbon puis l'abondance de pétrole bon marché constituèrent les conditions environnementales de la compatibilité entre capitalisme et démocratie. Ces conditions disparues ou fragilisées, une mutation profonde de la régulation du capitalisme intervint, substituant au compromis social fordiste et un capitalisme d'une nouvelle relation sociale à l'environnement.

L'interprétation de Mitchell nous permet de proposer une définition du rapport social à l'environnement en tant que sixième forme structurelle du mode de régulation. Constitué d'un ensemble de dispositifs socio-techniques, culturels et juridiques qui organisent la disponibilité et la demande des ressources naturelles, le rapport social à l'environnement définit les modalités d'interaction entre les sociétés humaines et la nature et en distribue les coûts et les bénéfices. Le rapport social à l'environnement comprend les éléments codifiés des interactions humaines avec la nature, les dispositifs effectifs de ces interactions et les conflits socio-politiques qui s'y

rapportent, les régularités qu'ils produisent et la manière dont ils altèrent les mécanismes de régulation socio-politiques associés aux régimes d'accumulation.

B. MESURER LA RELATION ENERGIE-ECONOMIE

Pour analyser le rapport social à l'environnement il est indispensable de disposer de données quantitatives. De ce point de vue, les apports récents des économistes écologiques concernant la mesure de l'utilisation de l'énergie des pays à haut revenu sont décisifs et vont servir de base à notre analyse dans la suite de cet article. Néanmoins, ces travaux ne sont pas sans poser des problèmes méthodologiques et théoriques et souffrent d'un manque d'historicisation. D'autre part, pour éviter des effets de myopie résultant de mesures exclusivement focalisées sur l'utilisation d'énergie sur le seul territoire national, il est nécessaire de recourir aux données CO2 en approche consommation.

B1. L'ENERGIE EST-ELLE LA CAUSE DE LA CROISSANCE ?

Des travaux récents d'économistes écologiques placent l'énergie au centre de leur interprétation de l'accumulation capitaliste. Leur thèse centrale est que l'énergie est le principal facteur explicatif de la croissance au XX^e siècle (Ayres et Warr, 2005; Ayres et Voudouris, 2014; Warr et Ayres, 2012). Le résidu de Solow habituellement attribué au progrès technique (Solow, 1957) s'explique presque entièrement par l'énergie de 1900 à 2000 pour les Etats-Unis, le Japon et le Royaume-Uni :

« Au contraire des économistes néoclassiques qui considèrent l'énergie comme un facteur de production marginal, le présent travail fournit les preuves empiriques de l'importance de l'énergie (plus spécifiquement, de l'énergie utile) pour la croissance économique (...). Nos résultats confirment l'intuition que la croissance depuis la Révolution industrielle a été largement déterminée par l'augmentation du stock de capital et l'offre correspondante d'énergie permise par la découverte et l'exploitation de formes d'énergie relativement bon marché » (Ayres et Voudouris, 2014, pp. 26–27, notre traduction).

Selon ces travaux, les études ayant tenté de quantifier l'apport de l'énergie en tant que facteur de production souffrent d'un biais méthodologique : elles ne considèrent pas l'énergie effectivement utilisée, c'est-à-dire les services rendus par l'énergie (Warr et al., 2010). Les mesures de l'intensité énergétique basées sur l'énergie primaire (ou l'énergie finale) rapportée au PIB sont trop agrégées pour rendre compte des transformations structurelles de la consommation d'énergie et de leurs conséquences économiques. De plus, elles empêchent une comparaison entre pays car elles ne reflètent pas les différences de qualité de l'énergie utilisée d'un pays à l'autre (Serrenho et al., 2014). Pour dépasser ces limites méthodologiques, les auteurs n'utilisent donc pas la mesure habituelle en terme d'énergie primaire (voir les définitions dans le Tableau 1). Ils considèrent le *travail utile* (*useful work*), c'est-à-dire l'*exergie* effectivement utilisée après toutes les étapes de transformation impliquant une altération de la qualité de l'énergie (Serrenho et al., 2014). L'énergie proprement dite ne se perd pas dans le processus de transformation-production (première loi de la thermodynamique), ce qui est perdu au fur et à mesure est la qualité de l'énergie (l'exergie), ou partie utile de l'énergie pouvant fournir un travail physique: plus une énergie est transformée plus sa qualité s'altère et l'énergie utile disponible diminue (seconde loi de la thermodynamique). Exergie et *travail utile* permettent donc une analyse plus fine de la trajectoire énergétique des économies.

Tableau 1 : Définition des différentes variables énergétiques.

| VARIABLE ENERGETIQUE | UNITE | DEFINITION | COMPREND |
|--------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| ÉNERGIE PRIMAIRE | Tonnes équivalent pétrole ou joules | Energie avant transformation en combustible et énergie consommables, directement extraite des ressources naturelles (IEA et al., 2005). L'offre d'énergie primaire totale mesure la quantité d'énergie primaire entrant dans un système socio-économique (Warr et al., 2010) | Non renouvelables : nucléaire, charbons, pétrole brut, liquides de gaz naturel, schistes bitumineux Renouvelables : chaleur, électricité non thermal, biocarburant (IEA et al., 2005). |
| ENERGIE SECONDAIRE (OU FINALE) | Tonnes équivalent pétrole ou joules | Energie obtenue après transformation de l'énergie primaire ou d'une autre énergie secondaire (IEA et al., 2005). Mesure l'énergie fournie aux utilisateurs finaux ((Warr et al., 2010). | Non renouvelables : produits pétroliers, combustibles solides et gaz produit industriellement, chaleur et électricité Renouvelables : tout combustible dérivé d'une énergie primaire renouvelable, chaleur et électricité (IEA et al., 2005). |
| EXERGIE | Joules | Mesure la qualité d'une énergie, soit l'énergie capable de délivrer un travail mécanique, chimique ou thermal. Terme thermodynamique correct pour désigner l'énergie disponible ou utile. Correspond au <i>travail potentiel</i> que peut fournir une énergie (Ayres et Warr, 2005). | L'exergie est une mesure qui s'applique aux énergies et combustibles traditionnels, aux produits agricoles, à l'énergie animale et humaine, aux minéraux et à tout type de matériau industriel (Ayres et Warr, 2005). |
| TRAVAIL UTILE | Joules | Correspond au <i>travail effectif</i> fourni par une énergie: mesure les services énergétiques comme la chaleur, la lumière ou la puissance motrice disponible pour l'utilisateur final après la conversion des intrants en exergie dans tous les processus techniques. Part de l'énergie fournissant effectivement un travail mécanique, chimique ou thermal, soit la partie productive de l'exergie (Warr et al., 2010). | |
| EFFICACITE THERMODYNAMIQUE | Pourcentage | Ratio entre l'intrant (quantité d'exergie) et l'extrait (quantité de <i>travail utile</i> délivrée). Le numérateur et le dénominateur sont mesurés en joules (Warr et al., 2010). | |

Selon ces économistes écologistes, l'énergie est un facteur de production essentiel dans les économies industrialisées. Leurs résultats économétriques mettent en évidence une causalité de Granger¹ univoque entre énergie et PIB (Giraud et Kahraman, 2014; Warr et Ayres, 2010), la première causant le second sans que le PIB ne cause, lui, la croissance de la consommation d'énergie :

« Premièrement, les résultats montrent que la consommation d'énergie est indépendante des autres variables du modèle². Il existe une relation causale univoque de la consommation d'énergie vers la croissance économique à court et à long terme. »
(Giraud et Kahraman, 2014, p. 21, notre traduction).

Ces travaux posent une série de problèmes méthodologiques et théoriques. Sur le plan méthodologique, les formes sophistiquées de la fonction de production utilisées par les auteurs pour quantifier l'apport de l'énergie en tant que facteur de production ne permettent pas de

¹ En économétrie, la causalité au sens de Granger signifie que l'inclusion des valeurs passées d'une variable explicative (i.e. Énergie_{t-1} etc.) améliore la prédiction des valeurs présentes ou futures de la variable expliquée (i.e. le PIB) en comparaison d'une estimation de celle-ci à partir de ses propres valeurs passées (i.e. PIB_{t-1}, PIB_{t-2} etc.).

² Le PIB, l'efficacité énergétique et le stock de capital.

dépasser les limites habituelles de ces fonctions. Certes, les auteurs parviennent à dissocier productivités marginales et part des facteurs dans le produit total, dépassant ainsi la théorie néoclassique de la répartition qui veut que la part des facteurs dans le produit soit égale à leur productivité marginale³. Cependant, les facteurs n'étant pas mesurés par une même unité, rien ne garantit que la relation testée soit bien une relation technique reflétant la combinaison productive à l'œuvre dans les économies considérées, et non une égalité comptable déguisée, cas de figure fréquent avec les fonctions de production agrégées (Lavoie, 2014).

Second problème, le capital reste, lui, mesuré en valeur, or il faut que toutes les variables soient mesurées en unité physique pour que la fonction de production ait un sens (Guerrien et Gun, 2014; Lavoie, 2014). *Last but not least*, la complémentarité et l'interdépendance des facteurs, soulignée par les auteurs (Ayres et Warr, 2005), rend problématique de quantifier l'apport exact de chacun des facteurs à la croissance par leurs productivités marginales: quelle interprétation économique attribuer à celles-ci dans la mesure où un facteur ne peut augmenter le produit total qu'en combinaison productive avec les autres ? Ainsi, contrairement à ce que prétendent montrer ces travaux économétriques (Giraud et Kahraman, 2014; Warr et Ayres, 2010), il n'est pas possible de considérer que la énergie *cause* la croissance dans la mesure où il n'est pas possible d'attribuer isolément à la première une contribution autonome à la seconde⁴.

Sur le plan théorique, la démarche de ces auteurs pose un problème peut être encore plus fondamental: l'offre d'énergie n'est pas totalement exogène, elle est déterminée par la demande (Csereklyei et al., 2014). Dans la mesure où la production nécessite de l'énergie, il est logique que la croissance de l'offre d'énergie précède la croissance du PIB, ce qui peut expliquer les résultats obtenus. Cependant, cela n'indique pas que l'énergie *cause* la croissance, mais plutôt qu'elle la *permet*. Le circuit de production ne peut être lancé sans fourniture préalable d'énergie. Ainsi l'énergie *permet* la concrétisation de la croissance mais c'est bien cette dernière qui, contenue dans les anticipations des agents, *cause* la hausse de l'offre d'énergie⁵. Ce raisonnement n'implique pas qu'il n'existe pas de contrainte d'offre dans la fourniture d'énergie. Néanmoins, comme nous l'avons montré précédemment, celle-ci ne s'exprime qu'à travers la médiation d'un rapport social que supporte un ensemble de dispositifs sociopolitiques et économiques qui organisent la disponibilité, la rareté mais aussi la demande des ressources énergétiques.

B2. APPROCHE EN CONSOMMATION ET EN PRODUCTION DU CO2

Une difficulté supplémentaire des travaux en termes de *travail utile* et d'exergie concerne le périmètre d'activité économique pris en compte. En effet, les données disponibles se cantonnent à l'énergie effectivement utilisée sur le territoire national des États considérés et ne mesurent donc par l'énergie effectivement consommée sur ce territoire dès lors que l'on tient compte du contenu en énergie des produits importés et que l'on soustrait l'énergie dépensée pour les produits exportés. Pour surmonter cette limite essentielle, il nous faut recourir à un autre indicateur: les émissions de CO2 en approche consommation⁶. En l'absence de mesures plus

³ En mesurant en valeur la contribution de l'énergie et des ressources naturelles au PIB, la théorie néoclassique de la répartition conduit en effet à en sous-estimer l'importance dès lors que les paiements pour celles-ci constituent une faible part du PIB (Ayres et Warr, 2005).

⁴ Certains travaux ont montré des causalités bidirectionnelles, voir Stern (2010) pour une revue de la littérature. La robustesse des résultats des tests de causalité entre énergie et PIB est aussi discutée et, lorsque les prix de l'énergie sont inclus dans les estimations économétriques, les tests de causalité indiquent que c'est le PIB qui cause au sens de Granger la consommation d'énergie et non l'inverse (Csereklyei et al., 2014).

⁵ Cette critique fait écho à la critique adressée aux économistes écologiques affirmant que la création monétaire *cause* la croissance, et que la masse monétaire en circulation doit donc être contrôlée de façon exogène pour prévenir une exploitation excessive des ressources naturelles. Le sens de causalité entre création monétaire et croissance du PIB tel qu'interprété par ces économistes n'a pas de sens dans un monde de monnaie endogène: la monnaie *permet* la croissance du PIB et la création monétaire lance le circuit de production, mais une demande préalable doit exister pour que la monnaie soit créée (Cahen-Fourot et Lavoie, 2014).

⁶ Plusieurs bases de données mesurent les émissions de CO2 en approche consommation (Exiobase, World Input-Output Database etc). Nous utilisons les données de la base Eora, qui est la seule à notre connaissance à remonter jusqu'à 1970, les autres bases commençant en 1990 ou après. Concernant l'énergie primaire, les données sont disponibles mais ne sont pas encore fiables (communication personnelle avec Dan Moran, responsable de la base).

directes de l'énergie effectivement consommée, ces données CO2 constituent une bonne approximation car elles sont très étroitement liées à l'évolution de la consommation d'énergie.

En matière de CO2, l'approche consommation consiste à allouer à un pays la totalité des émissions domestiques et déterritorialisées induites par la consommation nationale (soustraction faite des émissions domestiques destinées à la consommation étrangère), à l'inverse de l'approche production, qui ne prend en compte que les émissions domestiques (Peters, 2008). Il s'agit donc de mesurer la consommation nette de CO2 d'un pays donné, ce qui permet de rendre compte de l'empreinte CO2 effective d'un régime d'accumulation nationale.

Tableau 2. Mesure des variables en approches production et consommation.

| | |
|--|--|
| Variable environnementale en approche production | Émissions / consommation domestique de la variable. |
| Variable environnementale en approche consommation | Émissions / consommation domestique + (quantité de la variable contenue dans les importations – quantité de la variable contenue dans les exportations). |

Ces données font ressortir l'insertion des régimes d'accumulation nationaux dans le capitalisme globalisé en illustrant la complémentarité entre les régimes intensifs et extensifs en ressources naturelles.

En résumé, les travaux récents d'économistes écologistes fournissent des nouvelles données historiques indispensables pour analyser les transformations du rapport social à l'environnement. En revanche, leur tentative de mettre à jour une causalité simple entre énergie et croissance n'est convaincante ni sur le plan de la méthodologie, ni sur le plan théorique. En d'autres termes, il manque à ces travaux d'économie écologique un appareil conceptuel adéquat pour interpréter les données qu'ils ont rassemblé.

c. FAITS STYLISES

Les éléments théoriques présentés dans la première section offrent une perspective différente à celle des économistes écologistes et permet de distinguer les caractéristiques de la relation sociale à l'énergie dans le régime d'accumulation fordiste et dans le régime néolibéral au niveau de l'intensité de l'usage de l'énergie et de sa territorialisation.

La convention que nous adoptons pour séparer ces deux périodes est l'année 1973. Le choc sur les prix du pétrole cette année-là est un marqueur symbolique du changement de régime du rapport social à l'énergie. Plus fondamentalement, c'est autour de cette date là – entre 1967 et 1979 – que les courbes des divers indicateurs que nous allons maintenant étudier s'infléchissent. En outre, Mitchell (2013) identifie la période 1967-1974 comme celle de la transformation des dispositifs socio-technico-économiques qui caractérisaient l'ère des énergies fossiles abondantes et bon marché. L'année 1973 nous semble donc être un marqueur historique approprié pour situer la transition du Fordisme au Néolibéralisme.

c.1. D'UNE UTILISATION EXTENSIVE D'ENERGIE A UN USAGE INTENSIF

Warr et al. (2010) divisent le temps qui nous sépare de la fin de la seconde guerre mondiale en deux périodes. De 1945 à 1970, une hausse très importante des intrants exergetiques : multiplication par deux au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, par quatre au Japon. L'après 1970, est marquée par une baisse substantielle de la croissance des intrants d'exergie. Dans une étude similaire pour l'Union européenne à 15 pays entre 1960 et 2009, Serrenho et al. (2014) trouvent que la croissance de la consommation finale d'exergie et de *travail utile* agrégée pour les 15 pays ralentit à partir de la seconde moitié des années 1970 (figures 4 en annexe). Les deux études

montrent que l'intensité du PIB en *travail utile* diminue à partir des années 1970 (figure 5 en annexe).

Ces évolutions apparaissent très nettement dans le **tableau 3** qui indique les taux de croissance annuels moyens de la quantité d'exergie dans les deux régimes d'accumulation fordiste et néolibéral: le capitalisme néolibéral est associé à un fort ralentissement de l'augmentation de l'exergie (de - 0,54% à 0,57% en moyenne annuelle selon les deux études et les périodes prises en compte) par rapport à la croissance rapide de la période fordiste (3,65 et 4,49%).

Tableau 3: croissance annuelle moyenne de la quantité d'exergie entre 1950 et 2009.

| | Fordisme | | Néolibéralisme | |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
| | 1950-1960 | 1960-1973 | 1973-2000 | 2000-2009 |
| Allemagne | | 5,82 | -0,36 | -0,5 |
| France | | 5,72 | 0,45 | 0,06 |
| Japon | 6,01 | 7,29 | 2,04 | |
| Royaume-Uni (Ayes et Warr) | 2,77 | 2,69 | -0,03 | |
| Royaume-Uni (Serrenho et al.) | | 1,59 | 0,19 | -1,18 |
| États-Unis | 2,18 | 3,84 | 1,12 | |
| Moyenne | 3,65 | 4,49 | 0,57 | -0,54 |

Sources: calculs des auteurs d'après Ayres et Warr (2005) pour les États-Unis, le Japon et le Royaume-Uni entre 1950 et 2000 ; Serrenho et al. (2014) pour la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni entre 1960 et 2009⁷. Le découpage à l'intérieur de chaque régime d'accumulation s'explique par la disponibilité variable des données selon les pays.

La capacité à tirer du *travail utile* de l'exergie connaît aussi un changement de régime: une rupture intervient pour les États-Unis, le Japon et la France à partir de 1970 dans l'efficacité thermodynamique. La fin du Fordisme voit ainsi une stagnation de la quantité de *travail utile* tirée de l'exergie, voire une décroissance dans le cas du Japon et de la France, cette dernière ne revenant à son niveau de 1970 qu'au milieu des années 2000⁸. Les taux de croissance de l'efficacité thermodynamique tendent à diminuer ou à stagner pendant la deuxième moitié du XX^e siècle (**tableau 4**).

Tableau 4: croissance annuelle moyenne de l'efficacité thermodynamique entre 1950 et 2009.

| | Fordisme | | Néolibéralisme | |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
| | 1950-1960 | 1960-1973 | 1973-2000 | 2000-2009 |
| Allemagne | | 0,11 | 0,13 | 0,41 |
| France | | -0,26 | 0,45 | 0,02 |
| Japon | 5,51 | 2,04 | -0,34 | |
| Royaume-Uni (Ayes et Warr) | 2,23 | 3,5 | 0,97 | |
| Royaume-Uni (Serrenho et al.) | | 0,96 | 0,25 | 0,21 |
| États-Unis | 2,04 | 2,42 | 0,19 | |
| Moyenne | 3,26 | 1,46 | 0,28 | 0,21 |

Sources: calculs des auteurs d'après Ayres et Warr (2005) pour les États-Unis, le Japon et le Royaume-Uni entre 1950 et 2000 ; Serrenho et al. (2014) pour la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni entre 1960 et 2009.

À l'inverse, la productivité du *travail utile*, elle, augmente à partir de 1970 alors qu'elle diminuait jusque-là (**tableau 5**), ce qui, croisée avec les trajectoires de la quantité d'exergie et de l'efficacité thermodynamique, illustre le passage d'une ère extensive à une ère intensive dans

⁷ Nous remercions André Cabrera Serrenho pour les données de son article et pour quelques éclaircissements méthodologiques. Ayres et Warr (2005) et Serrenho et al. (2014) n'utilisent pas les mêmes données pour quantifier le *travail utile*, ce qui explique les différences de niveau pour le Royaume-Uni, seul pays couvert par les deux études (avec l'Autriche, que nous n'incluons pas dans les pays étudiés). La comparaison entre pays doit donc être faite avec prudence. L'observation des trajectoires individuelles est plus pertinente.

⁸ Voir graphique en annexe.

l'utilisation de l'énergie. Cela illustre, en outre, un déplacement dans la nature des gains de productivité, de la productivité du travail vers la productivité de l'énergie, comme nous le verrons à la suite

Tableau 5: croissance annuelle moyenne de la productivité du travail utile entre 1950 et 2009.

| | Fordisme | | Néolibéralisme | |
|-------------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| | 1950-1960 | 1960-1973 | 1973-2000 | 2000-2009 |
| Allemagne | | -1,51 | 2,26 | 0,72 |
| France | | -0,03 | 1,19 | 1,02 |
| Japon | -2,70 | 0,16 | 1,05 | |
| Royaume-Uni (Ayes et Warr) | -2,28 | -1,32 | 1,43 | |
| Royaume-Uni (Serrenho et al.) | | 1,52 | 2,19 | 2,64 |
| Etats-Unis | -0,77 | -1,93 | 1,81 | |
| Moyenne | -1,92 | -0,52 | 1,66 | 1,46 |

Sources : calculs des auteurs à partir de Ayres et Warr (2005), Serrenho et al. (2014) et de la Total Economy Database (PIB).

Le fordisme et le néolibéralisme connaissent donc deux régimes distincts de la relation sociale à l'environnement vue au travers du prisme énergétique:

- Une ère d'utilisation extensive des ressources naturelles caractérisée par la forte augmentation de la quantité d'exergie et de l'efficacité thermodynamique ainsi que par une diminution de la productivité du *travail utile*. Cette période correspond au Fordisme.
- Une ère intensive où quantité d'exergie et efficacité thermodynamique stagnent mais où la productivité du *travail utile* progresse nettement. Cette période correspond au régime d'accumulation globalisé et financiarisé du Néolibéralisme.

C.2. UNE DELOCALISATION ACCRUE DE L'UTILISATION DE L'ENERGIE

Comment s'explique le changement de régime observé dans la dimension énergétique du rapport social à l'environnement entre le Fordisme et le Néolibéralisme ? Serrenho et al. (2014) trouvent que l'intensité en *travail utile* du PIB de l'UE15 (l'inverse de la productivité du *travail utile*) est principalement déterminée par les industries requérant des hautes températures comme les industries métallurgiques et les cimenteries, et par la consommation domestique. La délocalisation des industries lourdes et le processus de tertiarisation des économies à haut revenu ont diminué l'intensité du PIB en énergie et expliquent que la productivité du *travail utile* augmente alors même que l'efficacité thermodynamique tend à croître moins rapidement.

Le **tableau 6** illustre l'importance de cet effet de trompe-l'œil dans la hausse de la productivité de l'énergie. Alors qu'en 1970, la plupart des pays riches était exportateur d'émissions de CO2 mesurées en approche consommation, en 2010 ils en importent tous massivement, les émissions importées représentant jusqu'à environ 45% des émissions totales de la France et du Royaume Uni. L'augmentation de la productivité du *travail utile* de l'exergie reflète donc, en partie, des mutations dans la structure productive des économies à haut revenu et, en particulier, une dépendance accrue à l'utilisation d'énergie à l'étranger.

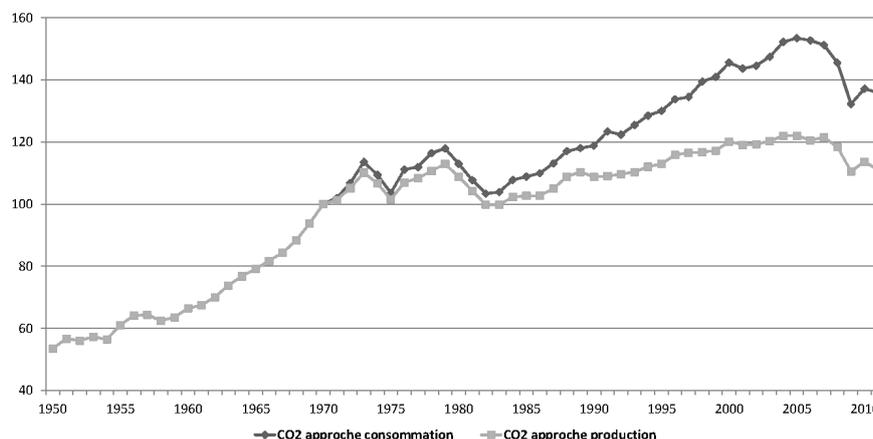
Tableau 6: Part des émissions de CO2 importées (net des émissions exportées) dans les émissions totales de CO2 (1970 et 2010). Des valeurs négatives indiquent que le pays est exportateur net de CO2.

| | 1970 | 2010 |
|-------------|--------|-------|
| Allemagne | -3,55 | 6,54 |
| France | 1,28 | 44,02 |
| Japon | -23,64 | 19,29 |
| Royaume-Uni | -0,12 | 45,75 |
| États-Unis | -1,94 | 13,75 |
| Moyenne | -5,59 | 25,87 |

Source : calculs des auteurs d'après Eora Input-Output Database. Les valeurs sont prises à date fixe car les séries de CO2 en approche consommation ne remontent pas au delà de 1970: il n'est donc pas possible de calculer une moyenne sur l'ensemble de la période fordiste.

La **Figure 1** permet de saisir ce phénomène de délocalisation de l'utilisation de l'énergie en dynamique. Elle montre que la croissance des émissions de CO2 des principaux pays à haut revenu demeure forte dès lors que les émissions totales induites par la consommation dans ces pays sont prises en compte: entre 1973 et 2007, les émissions des cinq principaux pays à haut revenu mesurées en approche consommation ont crû de 33,2%, à un taux annuel moyen de 0,76%, contre une augmentation de 120% dans la période fordiste (1950-1973), ce qui correspond à une croissance annuelle moyenne de 3,5%. Seul l'effet crise à partir de 2007 altère réellement les trajectoires. Effet crise mis à part, l'examen des trajectoires individuelles indique que seule l'Allemagne a une trajectoire structurelle de décroissance des émissions, quelle que soit la mesure considérée (voir figure 8 en annexe).

Figure 1. Total des émissions de CO2 pour les cinq pays mesurées en approches production et consommation (1950-2011, base 100 en 1970).

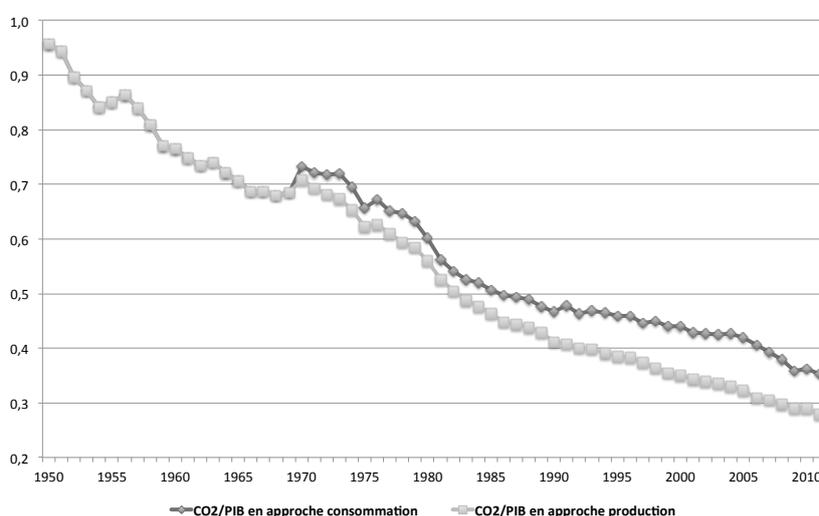


Sources: calculs des auteurs d'après CDIAC (émissions en approche production) et Eora Input-Output Database (émissions en approche consommation). Concernant les émissions en approche production, nous prenons ici les estimations du CDIAC afin de remonter jusqu'à 1950. Les émissions en approche production de la base Eora sont basées sur les estimations de la base Edgar: elles sont légèrement supérieures à celles du CDIAC, mais les trajectoires sont identiques. Les émissions en approche production présentées sur ce graphique sont donc une estimation prudente.

La mise en évidence de la délocalisation de l'utilisation de l'énergie fait apparaître sous un nouveau jour le phénomène d'intensification de l'utilisation de l'énergie souligné dans le paragraphe précédent. Si la relation sociale énergétique dans le contexte du Néolibéralisme prend une forme intensive dans l'économie domestique des principaux pays à haut revenu, cette évolution doit être nuancée au regard de cette dépendance accrue à l'énergie utilisée à l'étranger à des fins de consommation interne.

Nous l'avons dit, les mesures de l'exergie et du travail utile n'existe pas en approche consommation, nous sommes donc contraint pour examiner cette question de faire appel aux données sur les émissions de CO2. La **figure 2** indique que l'intensité carbone totale du PIB (l'inverse de la productivité du CO2) a décru depuis l'après-guerre dans les cinq principaux pays à haut revenu. Cette décroissance c'est faite cependant à un rythme inégal. En approche production, on note qu'au cours de la période fordiste (1950-1973), l'intensité carbone du PIB a diminué à un rythme annuel moyen de -1,2% contre - 2,3% sur la période néolibérale (1973-2011). Cette évolution corrobore l'observation faite dans le paragraphe précédent d'une utilisation plus intensive de l'énergie (ici approximée par la consommation de CO2). Si l'on prend les données en approche consommation – incluant donc l'énergie utilisée importée, la tendance reste la même mais est moins marquée, la baisse s'établissant à seulement -2% par an. On observe donc toujours un usage de l'énergie plus intensif dans la période néolibérale que dans la période fordiste mais le contraste est sensiblement moins marqué entre les deux périodes. Autrement dit, l'intensification de l'usage de l'énergie dans les principaux pays à haut revenu résulte en partie du déploiement sur d'autres territoires d'un usage plus extensif de l'énergie.

Figure 2. Intensité du PIB en CO2 mesuré en approches consommation et production pour les cinq pays de 1950 à 2011 (milliers de tonnes de carbone par millions de dollars à prix 2013)



Sources: calculs des auteurs d'après CDIAC, Eora et Total Economy Database.

D. TRAVAIL, CAPITAL ET ENERGIE DANS LE REGIME FORDISTE ET LE REGIME NEOLIBERAL

Les faits stylisés concernant l'utilisation de l'énergie doivent maintenant être mis en rapport avec les transformations d'autres dimensions essentielles du régime d'accumulation : la productivité du travail et la part des profits dans la valeur ajoutée.

D.1.LE DYNAMISME DE LA PRODUCTIVITE DU TRAVAIL DEPEND DE LA QUANTITE D'ENERGIE UTILISEE ET DE L'EFFICACITE THERMODYNAMIQUE

Un des traits qui distingue fortement la période fordiste et la période néolibérale est le rythme de croissance de la productivité du travail (**tableau 7**). Celle-ci s'accroît en effet à un rythme soutenu pour l'ensemble des pays à un taux, en moyenne, de 4,8% par an entre 1950 et 1973 contre 2,03% pour la période néolibérale.

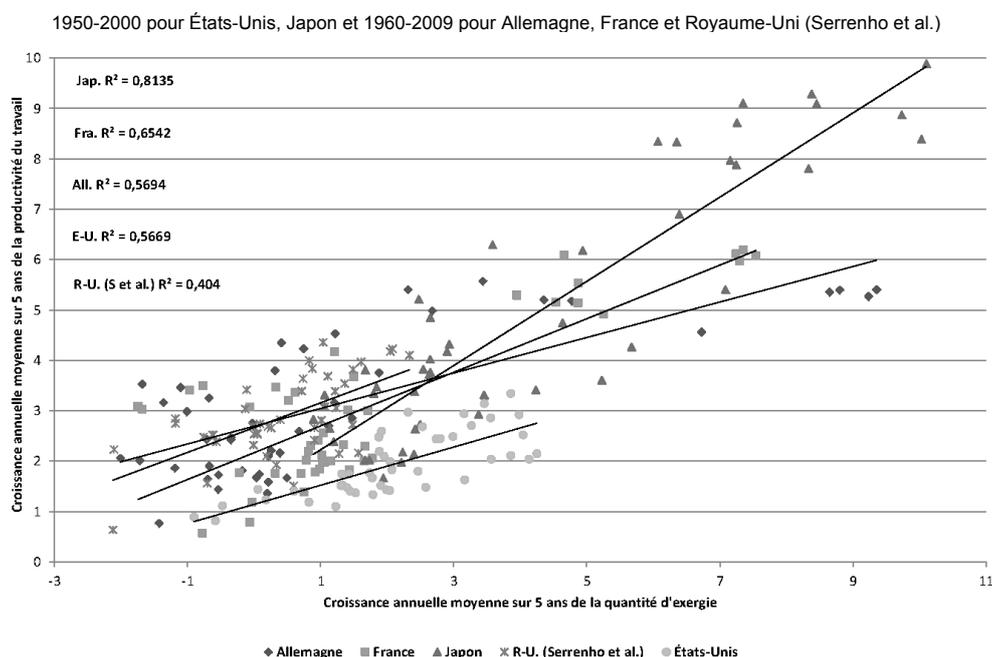
Tableau 7. Croissance annuelle moyenne de la productivité du travail entre 1950 et 2009.

| | Fordisme | Néolibéralisme |
|----------------|------------|----------------|
| | 1950-1973 | 1973-2013 |
| Allemagne | 5,9 | 2,16 |
| France | 5,24 | 1,99 |
| Japon | 7,32 | 2,4 |
| Royaume-Uni | 2,97 | 2,1 |
| Etats-Unis | 2,57 | 1,52 |
| Moyenne | 4,8 | 2,03 |

Sources: calculs des auteurs d'après Total Economy Database

L'importance de l'énergie dans les gains de productivité est un aspect bien établi de la littérature (Giraud et Kahraman, 2014). Ce lien se retrouve dans la **figure 3** qui met en relation le taux de croissance annuel moyen à 5 ans de l'exergie et de la productivité du travail et montre pour l'ensemble des pays considérés une relation positive entre ces deux grandeurs. Mis en regard du fort ralentissement de la croissance de l'exergie et de l'efficacité thermodynamique signalé précédemment (**tableaux 3 et 4**) cette relation prend une dimension centrale pour penser les logiques distinctives des deux régimes: elle suggère que la forte croissance de la productivité du travail au cours de la période fordiste s'est nourrie de l'utilisation extensive des ressources naturelles et, *a contrario*, que le passage à un régime énergétique intensif dans la période néolibérale est une des causes du ralentissement de la productivité.

Figure 3. Taux de croissance annuels moyens sur 5 ans de la quantité d'exergie et de la productivité du travail entre 1950 et 2009

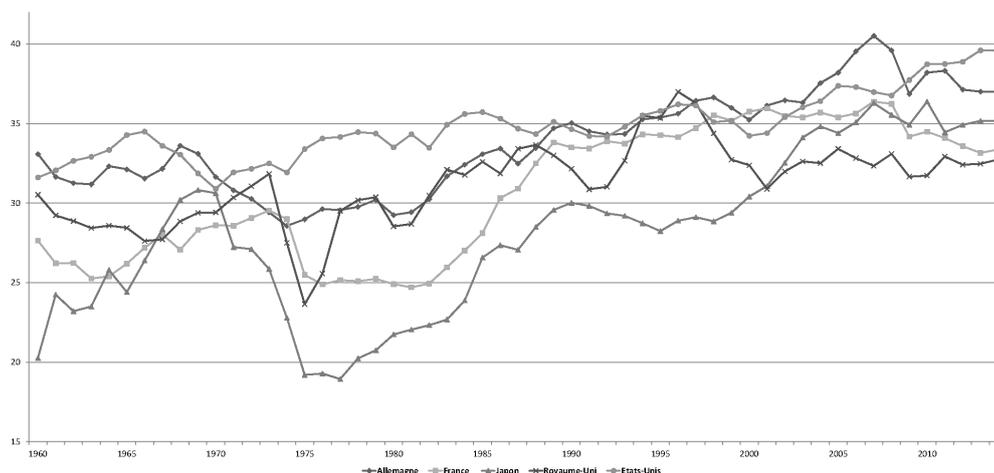


Sources : calculs des auteurs d'après Ayres et Warr (2005), Serrenho et al. (2014) et Total Economy Database

D.2. LA DIMENSION ENVIRONNEMENTALE DE LA RESTAURATION DE LA PART DU CAPITAL

Fordisme et Néolibéralisme se distingue également du point de vue du partage de la valeur ajoutée: la part du capital a connu une hausse continue depuis la fin du Fordisme. On constate une rupture de tendance nette sur la période 1970-1975 dans la trajectoire de la part du capital, décroissante jusque-là et croissante ensuite (**figure 4**).

Figure 4. Part du capital dans le partage de la valeur ajoutée (1960-2014)

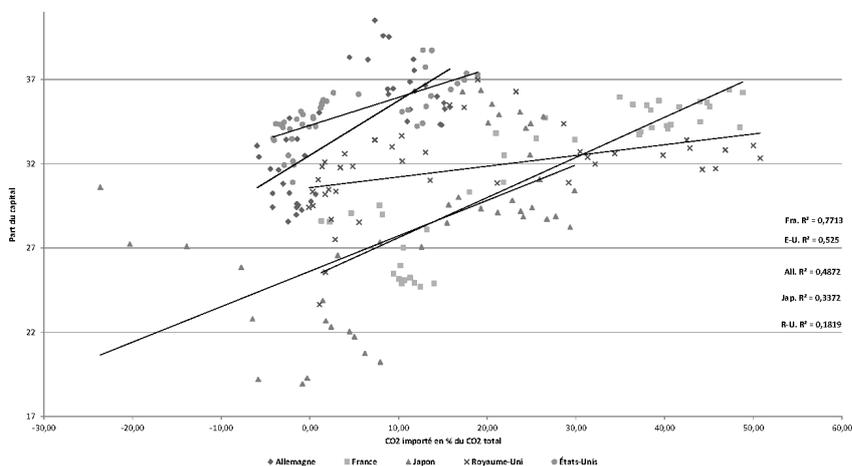


Source: calculs des auteurs d'après Ameco.

Cette différenciation en terme de répartition de la valeur ajoutée peut, elle aussi, être mise en rapport avec le changement de régime du rapport social à l'énergie en ce qui concerne la délocalisation de la consommation de l'énergie et l'intensification de son usage.

Bien qu'à des degrés divers, la **figure 5** montre, pour l'ensemble des pays, que la part du capital dans le partage de la valeur ajoutée est positivement corrélée à la part du CO2 importé dans les émissions totales de CO2. On peut ici faire l'hypothèse que l'éloignement de l'utilisation de l'énergie affaiblit la position du travail face au capital en le privant d'une part de sa capacité à contrôler les flux d'énergie et, en conséquence, de son pouvoir structurel sur le processus de production.

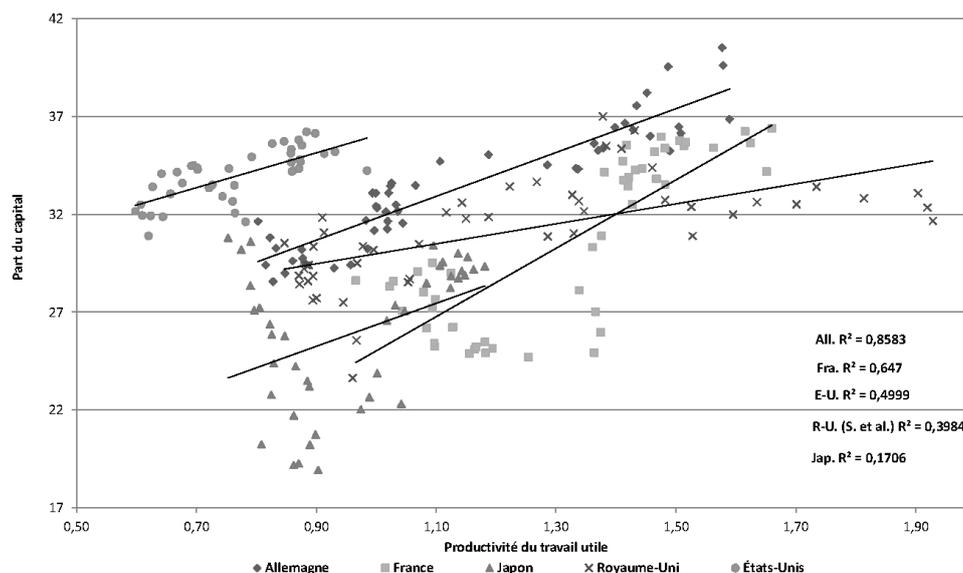
Figure 5. CO2 importé (en % des émissions totales en approche consommation) et part du capital dans le partage de la valeur ajoutée, 1970-2011.



Sources: calculs des auteurs d'après données Eora Input-Output database (CO2) et Ameco (part du capital).

La **figure 6** montre une corrélation forte et positive entre la productivité du *travail utile* et la part du capital. Le rapport causal qui peut être envisagé procède ici d'une possible substitution indirecte de l'énergie au travail via le capital, qui a pu contribuer à affaiblir le pouvoir de négociation des salariés via le développement du chômage et du sous-emploi.

Figure 6. Productivité du *travail utile* (millions de dollars 2013 de PIB par térajoules de *travail utile*) et part du capital dans le partage de la valeur ajoutée de 1960 à 2009 (1960-2000 pour Etats-Unis et Japon).



Sources: calculs des auteurs d'après données Ayres et Warr (2005), Serrenho et al. (2014) et Total Economy Database pour la productivité du travail utile, Ameco pour la part du capital.

Même si la hausse de la productivité du *travail utile* procède en partie d'un trompe-l'œil reflétant la baisse de l'intensité en énergie des économies à haut revenu (une constatation cohérente avec l'augmentation de la part du CO2 importé), cela n'efface pas de réels gains de productivité dans l'utilisation de l'énergie et donc une substitution indirecte entre énergie et travail via le capital. Cela est étayé par le fait que l'Allemagne, première économie d'Europe en termes de production manufacturière, présente la plus forte corrélation entre part du capital et productivité du *travail utile*.

L'énergie abondante à bon marché a constitué l'un des socles des forts gains de productivité du travail à la base du régime d'accumulation et du compromis social fordistes. Le ralentissement de la croissance de la quantité d'exergie peut expliquer en partie le ralentissement des gains de productivité du travail. De plus, l'accélération de la croissance de la productivité du *travail utile* et la délocalisation de l'utilisation de l'énergie sont à mettre en rapport avec la hausse de la part du capital dans le partage de la valeur ajoutée.

E. DISCUSSION

Cette communication identifie les formes idiosyncrasiques du rapport social à l'environnement analysé au prisme de l'énergie de chaque régime d'accumulation et met en évidence que la mutation dans ce rapport social correspond à la transition entre Fordisme et Néolibéralisme.

Ce que cette communication n'explique pas, c'est dans quelle mesure les changements intervenus dans le rapport social à l'environnement expliquent la transition entre régimes d'accumulation fordiste et néolibéral. La crise du fordisme est une crise socio-politique : en arrière fond du déclin du taux profit se trouve une série de facteurs parmi lesquels la capacité du monde du travail à obtenir des augmentations de salaire supérieures aux gains de productivité est un élément décisif, de même que l'épuisement d'un régime technologique associé au développement d'industries manufacturières mécanisées à destination d'une consommation de masse standardisée. Mais c'est également une crise socio-environnementale qui se manifeste par une baisse de la productivité du *travail utile*, le ralentissement de la croissance de la quantité d'exergie utilisée et de l'efficacité thermodynamique et dont une des traductions est la baisse de la productivité du travail. Dans le faisceau de raisons expliquant l'entrée en crise du Fordisme, ces éléments peuvent en constituer la cause environnementale. Ils révèlent une détérioration des conditions de production en ce qui concerne l'accès à l'énergie nécessaire au régime

d'accumulation fordiste. Cette détérioration crée des effets de type seconde contradiction (O'Connor, 1988) pesant négativement sur les taux de profit, qui viennent s'ajouter aux facteurs socio-économiques évoqués au début de ce paragraphe.

La restauration de l'hégémonie du capital à partir des années 1980 a également une dimension socio-environnementale. Les effets combinés de la délocalisation de l'utilisation de l'énergie et de l'accroissement de la productivité du *travail utile* – deux phénomènes qui se recoupent en partie – sapent une des sources essentielles du pouvoir structurel du travail. On retrouve ici la thèse de Mitchell sur l'étroite imbrication du rapport social à l'énergie et du rapport de force entre travail et capital. La crise du mouvement ouvrier dans les années 1980 peut ainsi être interprétée dans une perspective à la Mitchell comme la résultante de la reconfiguration du rapport social à l'énergie. Du point de vue du capital, ces évolutions correspondent à un desserrement des effets de type seconde contradiction: la contrainte énergétique est compensée par l'accès à des bassins d'emploi à bas coût permettant de restaurer les taux de profit ; et les activités intensives en énergie, qui sont aussi parmi les plus polluantes, sont éloignées au moment même où, dans les sociétés à haut revenu, la montée en puissance de la préoccupation écologique commence à se traduire par des réglementations contraignantes⁹.

Le dernier enseignement concerne l'intégration analytique des différentes échelles spatiales des processus économiques et écologiques. Dans leur critique des variétés de capitalisme, Peck et Theodore (2007) soulignent que « *la reconnaissance bienvenue de la variété géographique des systèmes capitalistes et de leur régulation est marquée par une tendance générale au nationalisme méthodologique* » (p. 750, notre traduction). Repérer la rupture de régime du rapport social à l'environnement implique de dépasser le nationalisme méthodologique afin de prendre en compte la délocalisation de la médiation économie / environnement: comme les données tendent à le montrer, la tertiarisation des pays à haut revenu n'est possible que parce qu'il existe une base industrielle reposant sur l'exploitation extensive des ressources naturelles ailleurs. Pour la TR, dépasser le nationalisme méthodologique implique conceptuellement une extension de la notion de complémentarité au-delà de la complémentarité institutionnelle à l'échelle nationale (Amable, 2005), vers une complémentarité entre régimes d'accumulation au sein du capitalisme global. Dans cette perspective, la forme institutionnelle de l'insertion dans le régime international - classique au sein de la TR - gagne à être illustrée autant par une macroéconomie physique des flux environnementaux que par une macroéconomie monétaire.

CONCLUSION

Cette contribution a montré de quelle manière il est possible d'intégrer la question écologique dans les recherches régulationnistes en mobilisant le concept de rapport social à l'environnement. Elle a permis d'identifier des formes idiosyncratiques de l'utilisation énergétique dans la période fordiste et la période néolibérale et de relier ces traits distinctifs à la productivité du travail et à la part du capital dans la valeur ajoutée.

Le Fordisme se caractérise par une utilisation extensive de l'énergie et une utilisation intensive du travail basée sur de forts gains de productivité de ce dernier grâce à une augmentation rapide de la quantité d'énergie incorporée au processus de production. Dans la période néolibérale, des gains de productivité ralentis et la restauration de la part du capital dans le partage de la valeur ajoutée s'accompagne d'une utilisation intensive de l'énergie et d'une délocalisation de l'utilisation de l'énergie. Des travaux ultérieurs devraient approfondir les liens causaux entre ces phénomènes tels qu'ils ont été envisagés dans les sections D et E.

Cet article montre enfin que l'intégration de l'analyse en termes de flux physiques constitue une méthodologie prometteuse pour approfondir le dialogue entre la TR et l'économie écologique.

⁹ En France, le Ministère de l'environnement est créé en 1971, un an avant la parution du rapport « Halte à la croissance » du Club de Rome (Fressoz et al., 2014).

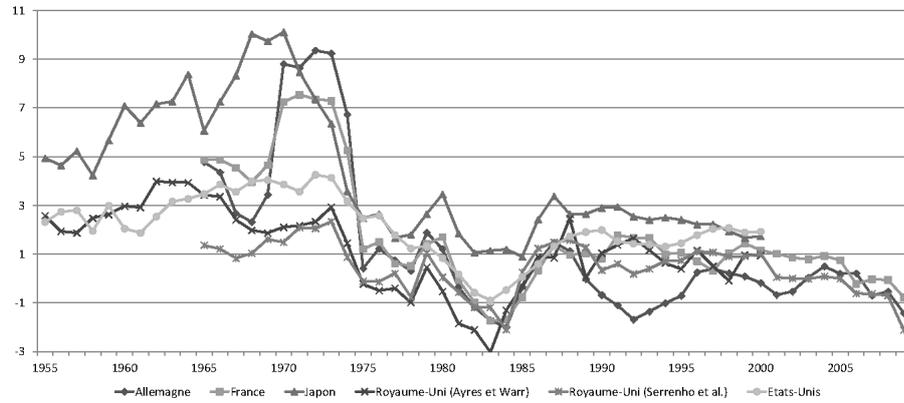
REFERENCES

- Aglietta, M., 1997. Régulation et crises du capitalisme, 2^{de} ed, Opus. Jacob, Paris.
- Amable, B., 2005. Les cinq capitalismes: diversité des systèmes économiques et sociaux dans la mondialisation. Éditions du Seuil, Paris.
- Ayres, R.U., Warr, B., 2005. Accounting for growth: the role of physical work. *Structural Change and Economic Dynamics*, Contains the special issue Approaches to Production Theory 16, 181–209. doi:10.1016/j.strueco.2003.10.003
- Ayres, R., Voudouris, V., 2014. The economic growth enigma: Capital, labour and useful energy? *Energy Policy* 64, 16–28. doi:10.1016/j.enpol.2013.06.001
- Becker, J., Raza, W., 2000. Theory of regulation and political ecology: an inevitable separation? *Économie et Sociétés, Théorie de la Régulation* 55–70.
- Bonneuil, C., 2015. Capitalocène. Une histoire conjointe du système terre et des systèmes-monde.
- Boyer, R., Saillard, Y., 2002. *Regulation Theory: The State of the Art*. Routledge.
- Cahen-Fourot, L., Lavoie, M., 2014. Ecological monetary economics: a post-Keynesian critique. Presented at the Degrowth Conference 2014, Leipzig, Allemagne.
- Chester, L., 2010. Determining the economic-environment relation: a regulationist approach. *International Journal of Green Economics* 4, 17–42.
- Cseréklyei, Z., Varas, M. del M.R., Stern, D.I., 2014. Energy and Economic Growth: The Stylized Facts (CCEP Working Paper No. 1417). Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Public Policy, The Australian National University.
- Diamond, J.M., 2006. *Effondrement: comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*. Gallimard, [Paris].
- Elie, L., Zuindeau, B., Bécue, M., Camara, M., Douai, A., Meunié, A., 2012. Approche régulationniste de la diversité des dispositifs institutionnels environnementaux des pays de l'OCDE. *Revue de la régulation*.
- Fressoz, J.-B., Graber, F., Locher, F., Quenet, G., 2014. *Introduction à l'histoire environnementale*. La Découverte, Paris.
- Giraud, G., Kahraman, Z., 2014. How Dependent is Growth from Primary Energy? The Dependency ratio of Energy in 33 Countries (1970-2011). Documents de Travail du Centre d'Économie de la Sorbonne.
- Guerrien, B., Gun, O., 2014. En finir, pour toujours, avec la fonction de production agrégée? Jesus Felipe and John S.L. McCombie, *The Aggregate Production Function and the Measurement of Technical Change: Not Even Wrong*. *Revue de la régulation* 15.
- Hornborg, A., 2012. *Global Ecology and Unequal Exchange: Fetishism in a Zero-Sum World*, 1st ed. Routledge.
- Hunt, T.L., 2007. Rethinking Easter Island's ecological catastrophe. *Journal of Archaeological Science* 34, 485–502. doi:10.1016/j.jas.2006.10.003
- IEA, OECD, Eurostat, 2005. *Energy statistics manual*.
- Kander, A., Malanima, P., Warde, P., 2013. *Power to the people: energy in Europe over the last five centuries*.
- Keucheyan, R., 2014. *La nature est un champ de bataille Essai d'écologie politique*. Zones, Paris.
- Lavoie, M., 2014. *Post-Keynesian Economics: New Foundations*. Edward Elgar Pub, Northampton, MA.

- Loiseau, B., Mazier, J., Winter, M.-B., 1977. Rentabilité du capital dans les économies dominantes : des tensions accrues. *Economie et statistique* 86, 39–54. doi:10.3406/estat.1977.6111
- Mazier, J., Basle, M., Vidal, J.-F., 1993. *Quand les crises durent*, 2ème éd. ed. Economica, Paris.
- Mitchell, T., 2013. *Carbon democracy: le pouvoir politique à l'ère du pétrole*. La Découverte, Paris.
- Moran, D.D., Lenzen, M., Kanemoto, K., Geschke, A., 2013. Does ecologically unequal exchange occur? *Ecological Economics* 89, 177–186. doi:10.1016/j.ecolecon.2013.02.013
- O'Connor, J., 1988. Capitalism, nature, socialism a theoretical introduction. *Capitalism Nature Socialism* 1.
- Peck, J., Theodore, N., 2007. Variegated capitalism. *Progress in Human Geography* 31, 731–772. doi:10.1177/0309132507083505
- Peters, G.P., 2008. From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecological Economics* 65, 13–23. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.10.014
- Raza, W., 2003. Le changement de l'articulation nature/société dans le capitalisme contemporain: débats théoriques et étude de cas sur l'exploitation de la diversité biologique, in: Harribey, J.-M., Löwy, M. (Eds.), *Capital Contre Nature, Actual Marx Confrontation*. Presses Universitaires de France, Paris, pp. 123–146.
- Serrenho, A.C., Sousa, T., Warr, B., Ayres, R.U., Domingos, T., 2014. Decomposition of useful work intensity: The EU (European Union)-15 countries from 1960 to 2009. *Energy, SDEWES 2013: Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 76, 704–715. doi:10.1016/j.energy.2014.08.068
- Silver, B.J., 2003. *Forces of labor: workers' movements and globalization since 1870*, Cambridge studies in comparative politics. Cambridge University Press, Cambridge ; New York.
- Solow, R.M., 1957. Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics* 39, 312. doi:10.2307/1926047
- Stern, D.I., 2010. *The Role of Energy in Economic Growth* (SSRN Scholarly Paper No. ID 1715855). Social Science Research Network, Rochester, NY.
- Tanuro, D., 2012. *L'impossible capitalisme vert*, La Découverte poche. Découverte, Paris.
- Vidal, J.-F., 2003. Régimes de croissance post fordistes: comparaison des Etats-Unis, du Japon et de la France, in: *Forum de La Régulation*.
- Warr, B., Ayres, R., Eisenmenger, N., Krausmann, F., Schandl, H., 2010. Energy use and economic development: A comparative analysis of useful work supply in Austria, Japan, the United Kingdom and the US during 100 years of economic growth. *Ecological Economics* 69, 1904–1917. doi:10.1016/j.ecolecon.2010.03.021
- Warr, B., Ayres, R.U., 2012. Useful work and information as drivers of economic growth. *Ecological Economics* 73, 93–102. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.09.006
- Warr, B.S., Ayres, R.U., 2010. Evidence of causality between the quantity and quality of energy consumption and economic growth. *Energy, Demand Response Resources: the US and International Experience Demand Response Resources: the US and International Experience* 35, 1688–1693. doi:10.1016/j.energy.2009.12.017
- Zuindeau, B., 2007. Régulation School and environment: Theoretical proposals and avenues of research. *Ecological Economics* 62, 281–290. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.12.018

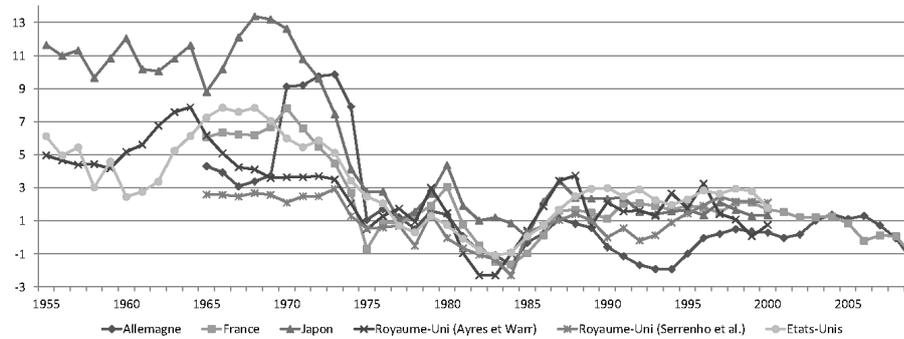
ANNEXES

Figure 5. Taux de croissance annuels moyens sur 5 ans de la quantité d'exergie (1950-2009)



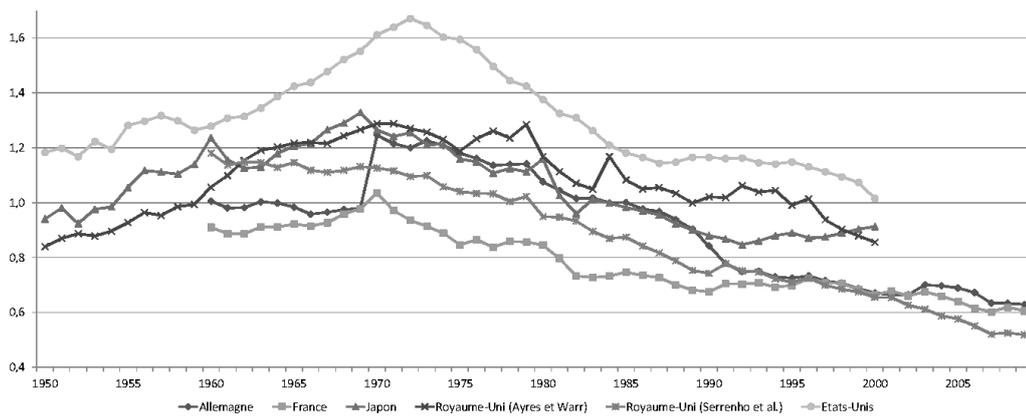
Sources : calculs des auteurs d'après Ayres et Warr (2005) et Serrenho et al. (2014)

Figure 6. Taux de croissance annuels moyens sur 5 ans de la quantité de travail utile (1950-2009)



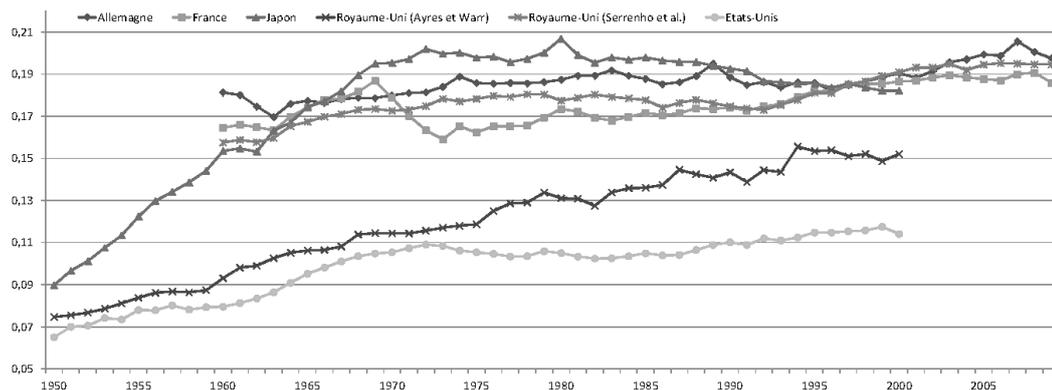
Sources : calculs des auteurs d'après Ayres et Warr (2005) et Serrenho et al. (2014)

Figure 7. Intensité du PIB en travail utile (1950-2009)



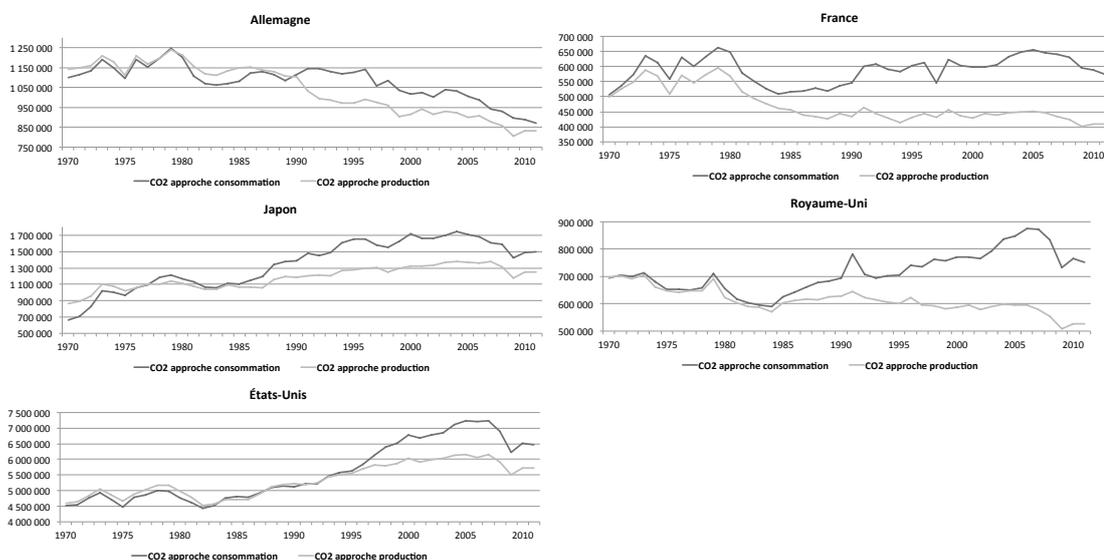
Sources : calculs des auteurs d'après Ayres et Warr (2005), Serrenho et al. (2014) et Total Economy Database

Figure 8. Efficacité thermodynamique en niveaux de 1950 à 2009.



Sources : Ayrès et Warr (2005) et Serrenho et al. (2014)

Figure 9. Emissions de CO2 en approches production et consommation (nettes des émissions exportées) pour les principaux pays à haut revenu (1970-2011)



Source : Eora Input-Output Database. Les émissions ici représentées sont estimées hors activités land use, land-use change and forestry (LULUCF). Cela pour une meilleure cohérence avec les données du CDIAC également utilisées dans ce travail, qui ne les prennent pas en compte à notre connaissance. Avec les activités LULUCF prises en compte, les émissions sont plus élevées pour les deux types de mesures, mais les trajectoires restent les mêmes.