

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)

*The transformation of the social relation to energy from the Fordism to
neoliberal capitalism. A comparative empirical and macroeconomic exploration
in high income countries (1950-2010)*

*La transformación de la relación social a la energía del fordismo al capitalismo
neoliberal. Una exploración empírica y macroeconómica comparada en los
países ricos (1950-2010)*

Louison Cahen-Fourot and Cédric Durand



Publisher

Association Recherche & Régulation

Electronic version

URL: <http://regulation.revues.org/12015>

ISSN: 1957-7796

Electronic reference

Louison Cahen-Fourot and Cédric Durand, « La transformation de la relation sociale à l'énergie du fordisme au capitalisme néolibéral », *Revue de la régulation* [Online], 20 | 2016, Online since 20 January 2017, connection on 20 January 2017. URL : <http://regulation.revues.org/12015>

This text was automatically generated on 20 January 2017.

© Tous droits réservés

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)

The transformation of the social relation to energy from the Fordism to neoliberal capitalism. A comparative empirical and macroeconomic exploration in high income countries (1950-2010)

La transformación de la relación social a la energía del fordismo al capitalismo neoliberal. Una exploración empírica y macroeconómica comparada en los países ricos (1950-2010)

Louison Cahen-Fourot and Cédric Durand

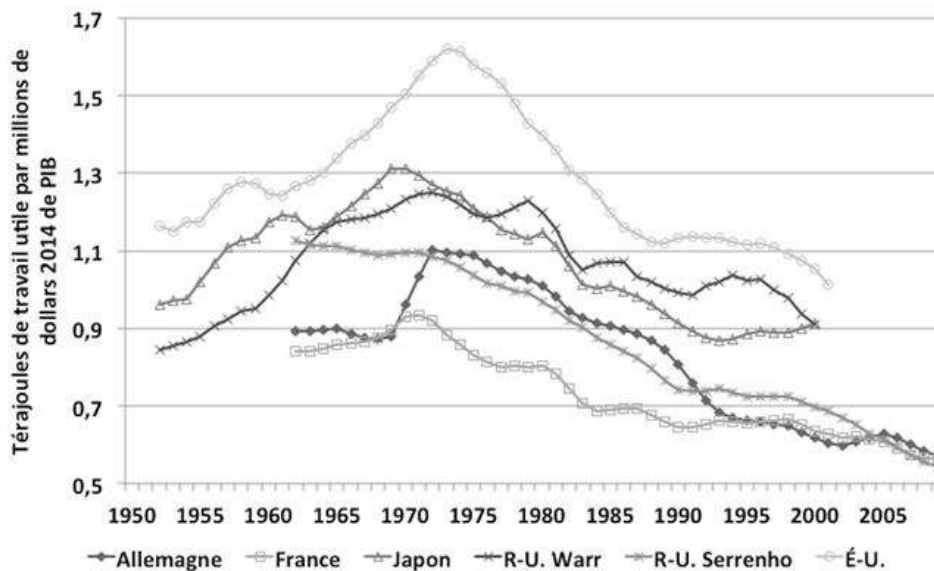
Les auteurs remercient les participants à la session « Macroeconomics, finance, and sustainability » de la European Society for Ecological Economics 2015 Conference, ceux du Séminaire de l'Institut Veblen « Comment l'hétérodoxie s'approprie-t-elle les enjeux environnementaux ? », à l'atelier PIB-énergie du Shift Project de novembre 2015, à la journée doctorant 2015 du séminaire d'économie politique du CEPN, à la session « Problématiques de "transition" : quels outils pour l'analyse régulationniste ? » (Quel rapport social à la nature ?) du Colloque International Recherche & Régulation 2015, ainsi que les participants des rencontres France-Japon 2015, où des versions antérieures de ce travail furent présentées et discutées. Les auteurs souhaitent également remercier Mathieu Montalban, Maxime Gueuder ainsi que trois rapporteurs anonymes pour leurs remarques et suggestions qui ont permis d'améliorer grandement ce travail. Les erreurs et incomplétudes restantes sont bien sûr du seul fait des auteurs.

Introduction

- 1 L'intégration de la question environnementale à la théorie de la régulation (TR) reste un chantier largement ouvert. Les premiers travaux remontent aux années 1990 (Drummond et Marsden, 1995 ; Gibbs, 1996 ; Lipietz, 1997, 1995 ; Zuideau, 1999) et n'ont été suivis que par un nombre limité de contributions (Becker et Raza, 2000 ; Chester, 2010 ; Zuideau, 2007 ; Zuideau *et al.*, 2012, Douai et Montalban, 2012, Durand et Légé, 2013). Il est révélateur que ce thème soit absent de la première introduction de Boyer (2004) alors que la seconde se limite à un bref développement portant sur les « dispositifs institutionnels de l'environnement » (Boyer, 2015).
- 2 Cet article entend contribuer à combler le déficit d'attention pour les questions d'environnement parmi les travaux régulationnistes en proposant un examen macroéconomique de la relation sociale à l'énergie dans le contexte du régime d'accumulation fordiste (Aglietta, 1997 ; Boyer et Saillard, 2002 ; Mazier *et al.*, 1993) et du régime financiarisé et mondialisé 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 par l'érosion de la protection sociale et des fonctions entrepreneuriales de la puissance publique, la montée en puissance d'un État organisateur des marchés, 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. En nous focalisant sur la dimension énergétique, nous allons montrer que capitalisme fordiste et capitalisme néolibéral se distinguent aussi du point de vue du rapport à l'environnement. Sur la figure 1, la rupture de tendance dans l'intensité en énergie du PIB dans les principales économies riches illustre l'idée selon laquelle le basculement d'un mode de régulation à un autre au tournant des années 1970 a une dimension environnementale. Ce fait stylisé majeur, déjà identifié par Wiedenhofer *et al.* (2013) constitue le point de départ de cette contribution. L'objectif est d'établir, au niveau macroéconomique, cette rupture dans l'usage de l'énergie et d'explorer comment les modes d'utilisation de l'énergie propres à chacun des deux régimes s'articulent avec leurs caractéristiques en termes de productivité du travail et de partage de la valeur ajoutée.
- 3 Cet article fait dialoguer l'approche régulationniste avec l'économie écologique et les travaux d'histoire environnementale, en particulier la perspective tracée par Timothy Mitchell dans son ouvrage *Carbon Democracy* (2013). Sur le plan empirique, il jette les bases d'une analyse comparatiste de l'utilisation de l'énergie centrée sur les principales économies à haut revenu (Allemagne, États-Unis, France, Japon et Royaume-Uni) entre 1950 et 2010. 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) – qui mesurent respectivement la partie de l'énergie pouvant fournir un travail mécanique et l'*exergie* effectivement utilisée dans le processus de production¹ – et, d'autre part, de séries longues sur le CO₂ importé calculées à partir des tables *input-output* (Moran *et al.*, 2013).
- 4 La première section explicite notre conceptualisation du rapport social à l'environnement dans sa dimension énergétique. La seconde section expose les enjeux méthodologiques de la mesure de l'utilisation et de l'efficacité de l'énergie et propose une discussion critique des travaux récents de l'économie écologique sur ce sujet. La troisième section présente des faits stylisés permettant de distinguer la période fordiste de la période néolibérale du

point de vue de l'utilisation de l'énergie. La quatrième section met en rapport des faits stylisés avec les dynamiques de la productivité du travail et du partage de la valeur ajoutée, deux indicateurs essentiels pour mettre au jour les caractéristiques des régimes d'accumulation fordiste et néolibéral. La conclusion résume nos résultats, en indique les limites et les prolongements possibles.

Figure 1. Trajectoires de l'intensité énergétique du PIB (1950-2009)



Intensité du PIB en énergie, soit le ratio *travail utile* (en térajoules) sur PIB (en millions de dollars 2014) de 1950 à 2000 (R-U, US, Japon) et de 1960 à 2009 (Allemagne, France, Royaume-Uni).

Sources : Warr *et al.* (2010), Serrenho *et al.* (2014), Total Economy Database

1. La relation sociale à l'énergie dans une perspective régulationniste

- 5 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. À 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 qui s'articule socialement. 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. L'objet de cette section est de poser un cadre conceptuel nous permettant de penser comment le rapport social à la nature se déploie au niveau de l'utilisation de l'énergie, c'est-à-dire la manière dont cet usage s'inscrit dans des configurations historiques idiosyncrasiques et contribue aux différents régimes d'accumulation.

1.1. L'interaction entre l'humanité et l'environnement en tant que rapport social

- 6 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 examinent de manière critique les rapports entre développement durable et capitalisme et, plus encore, ceux 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 suit :
- [...] 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)
- 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).
- 8 Robert Boyer s'appuie sur ces recherches pour rejeter l'idée de sixième forme structurelle avancée par Becker et Raza. Les DIE « *seraient la projection des formes institutionnelles sur l'espace des relations économie/environnement* » (Boyer, 2015, p. 162). La manière dont la relation de travail serait codifiée, la forme de la concurrence, l'État et le style de la politique économique ainsi que le régime monétaire et financier et l'insertion internationale sont vus comme des éléments qui déterminent le développement de DIE. Cette approche est à même de rendre compte des affinités institutionnelles entre les modalités formelles d'inscription des différents rapports sociaux ; elle risque cependant de nier l'autonomie relative du rapport social à l'environnement. Les DIE pointent la codification en normes et politiques du rapport social à l'environnement. Ils n'en incarnent cependant pas la totalité, non seulement parce qu'ils n'en captent que la dimension nationale et codifiée mais, plus encore, car ils risquent de privilégier une lecture formelle de la relation sociale à l'environnement. Si, comme nous l'expliquerons plus loin, un certain nombre de travaux écologistes peuvent pécher par une naturalisation de celui-ci, le risque ici est inverse. Réduire le nœud humanité-environnement à une simple projection des autres formes institutionnelles conduit à minorer les contradictions qui s'y nouent et leurs effets possibles sur la trajectoire d'ensemble d'une formation sociale.
- 9 Trois points sont décisifs pour engager une réflexion économique à propos du rapport social à l'environnement en tant que forme structurelle. 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 dites naturelles 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'interaction des êtres humains avec l'environnement passe nécessairement par les rapports sociaux qui organisent les activités humaines.
- 10 Néanmoins, contrairement à ce que suggère l'approche en termes de DIE, la relation économie-environnement n'est pas une simple projection des autres rapports sociaux sur l'environnement, c'est aussi une contrainte qui nourrit des conflits sociaux dotés de leur logique propre (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, soit pour en capturer les richesses, soit pour échapper aux effets de la dégradation des écosystèmes. 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^e siècle, dans l'échange écologique inégal entre les métropoles du capitalisme mondial et les périphéries (Fresso et Bonneuil, 2016 ; 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.

- 11 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). Dans le cadre du mode de production capitaliste, O'Connor (1988) désigne par le terme de *seconde contradiction* écologique l'interaction problématique entre l'environnement 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 la production se traduit par des hausses de coûts et une 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.
- 12 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. Dans le contexte du mode de production capitaliste, cela signifie que les divers régimes d'accumulation du capital s'appuient sur des modalités spécifiques du rapport social à l'environnement. Cette socialité du nœud humanité-environnement ne se réduit pas à la simple projection de dispositifs institutionnels depuis les autres formes structurelles. Le rapport social à l'environnement dispose de son autonomie relative et peut être considéré comme une sixième forme structurelle qui 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). Le rapport social à l'environnement est support et produit de la conflictualité entre classes et fractions de classe, entre entités politiques et entre firmes. Il se déploie et se régule dans des formes qui s'articulent de manière vertueuse ou perverse aux autres rapports sociaux ; elles peuvent contribuer à contenir les contradictions qui traversent le capitalisme ou, au contraire, les accentuer au point de contribuer à l'entrée en crise du mode de régulation voire, comme l'envisage O'Connor, du mode de développement dans son ensemble.

1.2 La dimension politico-économique de l'usage de l'énergie

- 13 L'adoption du charbon et celle du pétrole (et de l'électricité) comme énergies motrices premières de l'économie s'inscrivent dans des dynamiques technologiques. L'apparition d'une technologie à usage général débouche sur une grappe d'innovations, tant du côté de l'offre que de la demande, qui va progressivement, au cours de plusieurs décennies, modifier en profondeur le système énergétique. Dans le cas du charbon, le raffinement de la machine à vapeur par Watts puis l'amélioration des chaudières permettant des engins à haute pression ouvrirent la voie à toute une série d'innovations dans la métallurgie, les chemins de fer et la navigation. De même, l'invention du moteur à explosion marqua une amélioration décisive de la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique qui rendit possible la diffusion de l'usage du pétrole et du gaz dans un grand nombre de processus productifs et de consommations (Crafts, 2004 ; Grubler, 2012 ; Wilson et Grubler, 2011). Pour autant, les changements intervenus dans les sources et les usages de l'énergie ne se résument pas à une évolution autonome, purement fonctionnelle, de la technologie. Ils s'enracinent et nourrissent les rapports sociaux qui leur sont contemporains (Barca, 2011). Les travaux récents de nombreux historiens de l'environnement ont ainsi mis en regard les usages des ressources et les effets socio-politiques qui leur sont associés pour construire une histoire environnementale ancrée dans les configurations indissociablement économiques, technologiques et sociales (Fresso et al., 2014).
- 14 L'adoption du charbon au sein de l'industrie du coton britannique au cours de la première moitié du XIX^e siècle, par exemple, ne procède aucunement d'une logique d'efficacité énergétique, ni même d'une réduction générale des coûts ; elle résulte de stratégies capitalistes contraintes par les rapports de concurrence et le rapport salarial (Malm, 2016). L'adoption du pétrole n'obéit pas davantage à une simple évolution technofonctionnaliste, mais s'inscrit dans une histoire irréductiblement politique et sociale. Par exemple, à partir de 1911, la Navy britannique va renouveler sa flotte en passant de navires propulsés au charbon à des navires propulsés au mazout. Une des préoccupations de l'Amirauté, alors dirigée par Winston Churchill, est de se protéger des revendications politiques des travailleurs du charbon dans le sillage des grandes contestations ouvrières dont le même Churchill avait organisé la répression l'année précédente, lorsqu'il était ministre de l'Intérieur (Debeir et al., 2013 ; Mitchell, 2013). Ce motif se répète. L'un des objectifs du développement du pétrole en Europe après-guerre fut de dévitaliser « *les forces ouvrières communistes liées au charbon* » (Fresso et Bonneuil, 2016) et d'affaiblir les grands syndicats qui leur étaient associés (Debeir et al., 2013).
- 15 Le travail de Mitchell (2013) s'inscrit pleinement dans une telle perspective d'histoire sociale, économique et politique de l'environnement et la systématise. Son apport essentiel consiste à montrer comment l'usage de l'énergie contribue à façonner les régimes politiques et économiques, du fait des caractéristiques propres des ressources et des technostructures qui permettent leur exploitation.
- 16 Sur le plan statistique, davantage que la croissance économique, l'alphabétisation ou l'urbanisation, ce sont les variables grèves, manifestations et émeutes qui semblent expliquer les extensions de droit de vote (Przeworski, 2009) ; autrement dit, les avancées démocratiques n'ont été accordées par les élites que lorsqu'elles y furent contraintes. Pour Mitchell, l'exploitation du charbon est un facteur qui favorisa ces luttes populaires à

l'origine des avancées démocratiques pour trois raisons : premièrement, l'exploitation du charbon impliquait une forte concentration de travailleurs, favorisant ainsi l'émergence de mouvements sociaux de masse. Deuxièmement, l'autonomie du travail d'extraction 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, ce qui permettait aux travailleurs du rail de bloquer facilement sa production et sa distribution. La combinaison de ces trois éléments favorisa le développement d'une conscience populaire et d'une capacité de lutter qui permirent de faire avancer les droits sociaux et politiques. Comme l'expliquent Debeir *et al.* (2013) :

Les grèves des bassins houillers [...] frappent par leur ampleur, comme le montre la formidable grève des mineurs anglais de 1890 (260 000 grévistes), celle des mineurs français après la catastrophe de Courrières (10 mars 1906), qui paralyse Paris, celles des mineurs de Virginie et d'Allemagne en 1920, la grève générale des mineurs anglais en 1926, celles des mineurs français en 1934-1936, la grève générale des bassins du Nord-Pas-de-Calais et de Belgique au printemps 1941, en pleine occupation allemande, ou encore les « grèves rouges » de novembre-décembre 1947 et d'octobre-novembre 1948, jusqu'aux deux grèves générales de 1963 en France et de 1984-1985 en Grande-Bretagne. Partout, États et patronats durent composer. Même dans ces échecs [...] le combat social des ouvriers de l'énergie fut créatif, graduellement porteur de réforme sociale et même économique [...]. Il décida souvent de la mise en place à l'échelle du monde de la protection sociale et des diverses formes du welfare state [...]. (p. 225-226)

- 17 Mitchell parle de *démocraties du carbone* pour les régimes démocratiques assis sur l'énergie carbonée et en partie issus des luttes des travailleurs du charbon qui apparurent entre la fin du XIX^e siècle et la Seconde Guerre mondiale. De ce point de vue, la généralisation du pétrole en lieu et place du charbon comme source principale d'énergie est lourde de conséquences sociales et politiques. L'exploitation et la distribution de pétrole n'ont en effet 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 persiste dans les sites stratégiques, mais se trouve amoindri avec la diminution de leur nombre. Les caractéristiques du pétrole favorisent ainsi l'émergence de modes de gouvernement technocratiques éloignant la prise de décision du débat démocratique. En même temps, ce changement dans la forme d'énergie dominante est aussi un des piliers du compromis social fordiste des Trente Glorieuses à travers la mise à disposition, en abondance, d'une énergie bon marché. Le pétrole accéléra le développement de vastes industries mécanisées initiées à l'âge du charbon. Cela favorisa la diffusion du rapport salarial et la cristallisation institutionnelle d'acquis sociaux en raison du pouvoir structurel dont disposent les travailleurs dans ces dispositifs productifs et de forts gains de productivité du travail (Silver, 2003 ; Tronti, 1977). L'industrie archétypique à cet égard est l'industrie automobile, véritable pilier du compromis social fordiste.
- 18 En somme, la diffusion de l'énergie pétrolière eut un effet ambigu sur le régime d'accumulation fordiste : elle le permit dans un premier temps par la disponibilité en abondance d'énergie à faible coût qui favorisa l'émergence de grandes concentrations ouvrières mécanisées. Cependant, comme le montre Mitchell, les dispositifs socio-techniques associés à l'usage du pétrole fragilisent la régulation des rapports sociaux qui sous-tend ce régime d'accumulation. Selon cette lecture, le fordisme serait donc en partie

le produit d'une régulation institutionnelle héritée de rapports de force issus de l'exploitation du charbon et d'une mécanisation permise par l'élargissement de l'accès au pétrole à bas coût durant l'après-guerre. La vulnérabilité énergétique de ce régime serait alors double : d'une part, en ce qui concerne ses soubassements sociaux dans le secteur même de la production et du transport d'énergie et, d'autre part, en ce qui concerne les conditions techniques et géopolitiques d'accès au pétrole à bas prix. Ces deux piliers du fordisme basculent dans les années 1970. D'importantes reconfigurations interviennent dans la production de pétrole au début des années 1970. Sous la 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 socio-politique 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. (Mitchell, 2013, p. 235).

- 19 C'est dans ce contexte qu'interviennent l'abandon du système monétaire international de Bretton Woods et la dérégulation progressive des taux de changes et des flux de capitaux. C'est l'une des origines de la mondialisation financière et un moment clé dans le tournant opéré vers des politiques de désinflation brutale qui entraînèrent un rapide accroissement du chômage dans l'ensemble du monde développé. 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 relation sociale à l'énergie ajoutèrent à la déstabilisation de ce régime, et ce de manière particulièrement nette dans les années 1970. *A minima*, la rupture intervenue dans la relation sociale à l'énergie fut un facteur aggravant de la crise du fordisme ; le récit régulationniste traditionnel et le récit de Mitchell sont complémentaires.
- 20 Le rapport social à l'environnement dans sa dimension énergétique participe pleinement des rapports de classes dans la mesure où la répartition des gains associés à l'énergie dépend du pouvoir de négociation des travailleurs qui exploitent et distribuent cette énergie. Les conditions de production et de distribution du charbon favorisèrent la constitution d'un puissant mouvement ouvrier, tandis que l'abondance de pétrole bon marché favorisa une mécanisation accélérée et rendit possible la consolidation des institutions démocratiques et de l'état social via la montée en puissance d'un vaste prolétariat industriel associé à l'essor des industries mécanisées. Cette dynamique arrivée à son terme, le caractère relativement faible du pouvoir structurel du salariat dans le système énergétique pétrolier par rapport au système charbonnier, le compromis social fordiste s'éroda et laissa place à un régime d'accumulation néolibéral doté d'une nouvelle forme de la relation sociale à l'énergie.
- 21 Dans la suite de cet article, nous allons explorer de manière stylisée cette hypothèse en posant une double question : peut-on montrer qu'une utilisation extensive (intensive) de l'énergie peut favoriser (entraver) des gains de productivité et, donc, sous-tendre des

compromis sociaux productivistes ? La (dé)territorialisation de l'utilisation de l'énergie est-elle un facteur qui (dé)favorise le pouvoir structurel du travail par rapport au capital ? Avant cela, il nous faut préciser les enjeux méthodologiques et théoriques associés aux mesures de l'utilisation de l'énergie et à leur interprétation.

2. Mesurer la relation énergie-économie

- 22 Pour analyser la relation sociale à l'énergie, 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. Toutefois, il convient pour cela de préciser la manière dont se conçoit le rapport entre énergie et croissance et de prendre en compte les effets de territorialisation liés à l'usage de l'énergie.

2.1 L'énergie est-elle la cause de la croissance ?

- 23 Les économistes écologiques de l'énergie placent celle-ci au centre de leur interprétation de l'accumulation capitaliste. Estimant son importance relative comme facteur de production à côté du travail et du capital, 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)². Le résidu de Solow habituellement attribué au progrès technique (Solow, 1957) s'expliquerait presque entièrement par l'amélioration de l'efficacité thermodynamique³ de 1900 à 2000 pour les États-Unis, le Japon et le Royaume-Uni.
- 24 Pour obtenir ces résultats, un certain nombre d'auteurs mobilisent une mesure de l'énergie autre que la mesure habituelle en termes d'énergie primaire : l'exergie (voir les définitions dans le **Tableau 1**). L'énergie primaire serait trop agrégée et empêcherait une comparaison entre pays car elle ne refléterait pas les différences de qualité de l'énergie utilisée d'un pays à l'autre (Serrenho *et al.*, 2014). Ainsi, quasiment aucune étude sur les liens de causalité énergie-PIB ne contrôle pour la qualité de l'énergie alors que celle-ci augmente avec le revenu et au cours du temps (Bruns *et al.*, 2014 ; Csereklyei *et al.*, 2016). Pour dépasser ces limites méthodologiques, des travaux récents d'économistes écologiques se focalisent sur 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 (voir par exemple : Ayres et Warr, 2005 ; Serrenho *et al.*, 2016, 2014 ; Warr *et al.*, 2010 ; Warr et Ayres, 2012, 2010). 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). D'après ces auteurs, *exergie* et *travail utile* permettent donc une analyse plus fine de la trajectoire énergétique des économies : elles autorisent de saisir précisément la dépendance étroite de l'activité économique à un apport externe d'énergie, ce que ces économistes écologiques appellent les services énergétiques. Pour notre étude, nous retenons cette mesure plus fine qui présente aussi l'intérêt de remonter à 1950 pour trois de nos cinq pays (États-Unis, Japon, Royaume-Uni), ce qui nous permet de couvrir l'ensemble de la période fordiste.

Tableau 1. Définition des différentes variables énergétiques

VARIABLE ÉNERGETIQUE	UNITÉ	DÉFINITION	COMPREND
Énergie primaire	Tonnes équivalent pétrole ou joules	Énergie avant transformation en combustible et énergie consommables, directement extraite des ressources naturelles (IEA <i>et al.</i> , 2005). L'offre d'énergie primaire totale mesure la quantité d'énergie primaire entrant dans un système socio-économique (Warr <i>et al.</i> , 2010).	Non renouvelables : nucléaire, charbons, pétrole brut, liquides de gaz naturel, schistes bitumineux Renouvelables : chaleur, électricité non thermique, biocarburant (IEA <i>et al.</i> , 2005).
Énergie secondaire (ou finale)	Tonnes équivalent pétrole ou joules	Énergie obtenue après transformation de l'énergie primaire ou d'une autre énergie secondaire (IEA <i>et al.</i> , 2005). Mesure l'énergie fournie aux utilisateurs finaux (Warr <i>et al.</i> , 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 <i>et al.</i> , 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 énergie 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 <i>et al.</i> , 2010).	

Source : auteurs

- 25 Par leurs travaux économétriques, les économistes écologiques cherchent à démontrer que l'énergie est à l'origine de la croissance. Utilisant les mesures en termes d'*exergie* et de *travail utile*, Warr et Ayres (2010) trouvent une causalité unidirectionnelle allant de l'énergie vers la croissance du PIB pour les États-Unis de 1946 à 2000. Giraud et Kahraman (2014), revenant à la mesure traditionnelle en termes d'énergie primaire, trouvent également une relation univoque allant de l'énergie vers la croissance du PIB pour 33 pays entre 1970 et 2011. Ces résultats sont cependant fragiles tant en regard de la littérature que de leurs présupposés théoriques.
- 26 Les recensions et méta-analyses de l'abondante littérature – plus de 500 articles (Bruns *et al.*, 2014) – qui traite des liens énergie-croissance indiquent qu'aucun consensus ne se dégage quant au sens de la causalité entre énergie et PIB (Chen *et al.*, 2012 ; Kalimeris *et al.*, 2014 ; Menegaki, 2014 ; Omri, 2014 ; Payne, 2010). Une grande partie est consacrée à l'application de tests de causalité de type Granger-Sims ou Toda-Yamamoto⁴ pour discriminer entre quatre types de relation : la croissance de la consommation d'énergie entraîne la croissance du PIB (hypothèse dite de croissance) ; la croissance du PIB entraîne celle de l'énergie (hypothèse dite de conservation) ; aucune causalité (neutralité) ; causalité bidirectionnelle (effets de retour) (Payne, 2010). Les résultats ne sont pas robustes aux différentes mesures et types d'énergie, à l'inclusion de différentes variables de contrôle, aux différences de technique économétrique, aux biais de publication et de mauvaise spécification des modèles et aux différentes périodes de temps utilisés
- 27 Plus fondamentalement, envisager une causalité de l'énergie à la croissance pose un problème théorique fondamental : l'offre d'énergie n'est pas totalement exogène, elle est

déterminée par la demande (Bruns *et al.*, 2014). L'extraordinaire croissance de l'usage de l'énergie dans l'histoire du capitalisme s'explique en particulier par une croissance parallèle d'un appareil technico-scientifique permettant un approfondissement continu de la production et de l'utilisation de l'énergie (Chester, 2014) ainsi que des changements dans le type d'énergie utilisée (Kander *et al.*, 2013). Debeir *et al.* (2013) soulignent également que la dynamique des systèmes énergétiques obéit à la rationalité de la formation socio-économique qui les englobe. Autrement dit, la relation sociale à l'énergie repose sur un *métabolisme social* recouvrant la manière dont les sociétés organisent leurs échanges d'énergie et de matériaux avec l'environnement (Martinez-Alier *et al.*, 2010 ; Muradian *et al.*, 2012).

- 28 L'analyse en termes de métabolisme social, élaborée par d'autres économistes écologiques (Fischer-Kowalski et Haberl, 1993 ; Gowdy *et al.*, 2009 ; Weisz *et al.*, 2001), implique l'intégration des flux de matières et d'énergie aux dynamiques socio-économiques et réfute le caractère exogène des premiers. Cette notion de métabolisme social est très proche de celle de relation sociale à l'environnement exposée plus haut, même si elle part des ressources naturelles quand celle de relation sociale à l'environnement part des rapports sociaux. L'important est que, dans les deux cas, l'usage des ressources est abordé comme un processus socialement déterminé, ce qui constitue une solide base de rapprochement entre Économie écologique et Régulation. Cette idée essentielle permet de revenir sur l'interprétation des résultats économétriques.
- 29 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 certains résultats économétriques. 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, mais c'est bien la croissance de la production qui, contenue dans les anticipations des agents, *cause* la hausse de l'offre d'énergie. La quantité d'énergie intégrée au système, c'est-à-dire l'offre, est endogène. Dans le cas contraire, nous serions en présence d'une *énergie hélicoptère* indépendante de la dynamique socio-économique, dont l'offre est dès lors donnée mais demeure à expliquer. Ce raisonnement sème le trouble sur l'interprétation des tests de causalité : si la consommation d'énergie dépend des anticipations des producteurs, la causalité prend forme dans un temps psychologique qui ne coïncide pas nécessairement avec le temps chronologique. Dès lors, le sens de lecture de la causalité devrait être inversé (Zellner, 1979). Tout cela n'implique pas l'absence de contrainte d'offre dans la fourniture d'énergie : la disponibilité de l'énergie peut être en partie exogène à la demande des agents. Néanmoins, comme nous l'avons montré précédemment, celle-ci ne s'exprime qu'à travers la médiation d'une relation sociale que supporte un ensemble de dispositifs sociopolitiques et économiques qui organisent la disponibilité, la rareté mais aussi la demande des ressources énergétiques (Koch, 2011 ; Mitchell, 2013). En résumé, la croissance du PIB *cause* la croissance de la consommation d'énergie et la disponibilité de l'énergie *permet* la croissance du PIB. Il n'est pas certain que les tests de causalité permettent de saisir cette nuance⁵.

2.2 Approche en production et en consommation du CO₂

- 30 Une difficulté que rencontrent les travaux s'appuyant sur les données en termes de *travail utile* et d'exergie concerne leur périmètre. En effet, les données disponibles se cantonnent à l'énergie utilisée sur le territoire national des États considérés et ne mesurent donc pas

l'énergie effectivement consommée sur ce territoire, c'est-à-dire qui inclue le contenu en énergie des produits importés mais ne comprend pas l'énergie dépensée pour les produits exportés. En l'absence de mesure de l'énergie incorporée au commerce international, il nous faut recourir à un autre indicateur pour surmonter cette limite essentielle : les émissions de CO₂ en approche consommation⁶ qui constituent une approximation acceptable car les émissions sont très étroitement liées à l'évolution de la consommation d'énergie.

Tableau . Mesure des variables en approches production et consommation

CO₂ en approche production	Émissions domestiques de CO ₂ .
CO₂ en approche consommation	Émissions domestiques de CO ₂ + (quantité de CO ₂ incorporée aux importations – quantité de CO ₂ incorporée aux exportations).

Source : auteurs

- 31 L'approche consommation consiste à allouer à un pays la totalité des émissions domestiques et déterritorialisées de CO₂ 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 (Davis et Caldeira, 2010 ; Peters, 2008).(Tableau 1). 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 national. Bien que la robustesse et la précision de cette approche doivent être améliorées (Sato, 2014), elle permet déjà de montrer que le CO₂ incorporé au commerce international est en croissance constante depuis les années 1990 (Nakano *et al.*, 2009 ; Peters *et al.*, 2012, 2011). 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 CO₂ : les premiers reposant en partie sur les seconds pour leur consommation finale. On précise qu'« intensif » renvoie à un régime basé sur l'accroissement de la productivité de l'énergie tandis qu'« extensif » renvoie à un régime fondé sur l'accroissement de la quantité d'énergie incorporé au système.
- 32 En résumé, les travaux récents des économistes écologistes fournissent de nouvelles données historiques indispensables pour analyser les transformations du rapport social à l'environnement : à travers la notion d'exergie, ils ont élaboré un indicateur permettant de saisir finement l'assise énergétique de l'activité économique, tandis que les approches en consommation du CO₂ rendent possible de dépasser les effets de myopie propres aux données stato-centrées. Il n'est en revanche pas possible d'établir une causalité simple entre utilisation d'énergie et croissance économique, ce que perçoivent les approches en termes de métabolisme social qui montrent comment ces deux phénomènes sont consubstantiels l'un à l'autre ; il y a là un pont vers les historiens de l'environnement et la théorie de la régulation. La suite de cet article va montrer comment ce dialogue entre économie écologique, histoire environnementale et approche régulationniste peut être utile pour comprendre l'usage de l'énergie dans les principaux pays riches depuis la Seconde Guerre mondiale.

3. Faits stylisés

- 33 La figure 1 présentée en introduction illustre la rupture qui intervient dans les années 1970 dans les usages de l'énergie. L'évolution du ratio *travail utile* sur PIB observée pour les cinq pays à haut revenu de notre étude fait apparaître deux périodes distinctes, correspondant au régime fordiste et au régime néolibéral. Cette périodisation est conforme aux résultats de Wiendenhofer *et al.* (2013) qui, dans leur article *Is there a 1970s syndrome? Analyzing structural breaks in the metabolism of industrial economies*, définissent les années 1970 comme un moment de transition socio-écologique, c'est-à-dire une transition entre deux types de régimes socio-métaboliques des interactions économie-nature (Krausmann *et al.*, 2008). Des tests économétriques de rupture structurelle effectués à partir de quatre mesures du ratio énergie/PIB⁷ présentés en annexe confirment la pertinence statistique de ce découpage temporel.
- 34 Pour construire nos faits stylisés nous avons choisi de distinguer deux périodes de part et d'autre de la médiane de toutes les années statistiquement significatives indiquées par les tests de rupture structurelle, soit 1974⁸. C'est autour de cette date que les changements de dynamique concernant l'intensité de l'usage de l'énergie et sa territorialisation signalent le changement de régime du rapport social à l'énergie correspondant respectivement aux deux régimes d'accumulation fordiste (1950-1974) et néolibéral (1974-2009) qu'il nous faut maintenant décrire.

3.1 D'un usage extensif à un usage intensif de l'énergie

- 35 Le tableau 4 construit à partir des données de Ayres et Warr (2005) et Serrenho *et al.* (2014) indique les taux de croissance annuels moyens de la quantité d'exergie utilisée pour les deux périodes. Il montre que le capitalisme néolibéral est associé à un fort ralentissement de l'augmentation de l'exergie produite (de -0,54 % à 0,71 % 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 3,94 %).

Tableau 3. Croissance annuelle moyenne de la quantité d'exergie utilisée entre 1950 et 2009

	Fordisme		Néolibéralisme	
	1950-1960	1960-1974	1974-2000	2000-2009
Allemagne		5,11	-0,22	-0,5
France		5,02	0,61	0,06
Japon	6,01	6,64	2,18	
Royaume-Uni (Ayres et Warr)		2,19	0,13	
Royaume-Uni (Serrenho et al.)		1,16	0,36	-1,18
États-Unis	2,18	3,50	1,20	
Moyenne	3,65	3,94	0,71	-0,54

Le découpage à l'intérieur de chaque régime d'accumulation s'explique par la disponibilité variable des données selon les pays.

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 2009⁹

- 36 Les données montrent également que la productivité du *travail utile* (inverse de l'intensité du PIB en *travail utile* de la figure 1) augmente à partir de 1970 alors qu'elle diminuait jusque-là (tableau 5), ce qui, en regard des trajectoires de la quantité d'exergie, illustre le passage d'une ère extensive à une ère intensive dans l'utilisation de l'énergie.

Tableau 4. Croissance annuelle moyenne de la productivité du *travail utile* entre 1950 et 2009

	Fordisme		Néolibéralisme	
	1950-1960	1960-1974	1974-2000	2000-2009
Allemagne		-1,30	2,30	0,72
France		0,17	1,18	1,02
Japon	-2,7	0,14	1,10	
Royaume-Uni (Ayres et Warr)	-2,28	-1,08	1,16	
Royaume-Uni (Serrenho et al.)		0,79	1,61	2,71
États-Unis	-0,77	-1,60	1,77	
Moyenne	-1,92	-0,48	1,52	1,48

- 37 Sources : calculs des auteurs à partir de Ayres et Warr (2005), Serrenho et al. (2014) et de la Total Economy Database (PIB)
- 38 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 ainsi que par une diminution de la productivité du *travail utile*. Cette période correspond au fordisme.
 - Une ère intensive où la quantité d'exergie stagne mais où la productivité du *travail utile* progresse nettement. Cette période correspond au régime d'accumulation globalisé et financiarisé du néolibéralisme.

3.2 Une délocalisation accrue de l'utilisation de l'énergie

- 39 Comment s'explique le changement de régime observé dans la relation sociale à l'énergie entre le fordisme et le néolibéralisme ? Serrenho et al. (2014) trouvent que l'intensité en *travail utile* du PIB de l'UE15 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 donc que la productivité du *travail utile* augmente. Le développement de l'usage de l'électricité a également amélioré l'efficacité énergétique (Kander et al., 2013).
- 40 Le tableau 6 illustre l'importance de l'effet de trompe-l'œil dans la hausse de la productivité de l'énergie. Alors qu'en 1970, la plupart des pays riches étaient exportateurs d'émissions de CO₂ mesurées en approche consommation, en 2010 ils en importent tous massivement, les émissions importées représentant jusqu'à environ 31 % des émissions totales de la France et du Royaume Uni. Le tableau 7 offre une comparaison avec les données d'autres sources pour 2010 ou des années récentes. L'ordre de grandeur de nos chiffres est globalement cohérent avec les autres sources disponibles, même si des disparités significatives existent du fait de méthodologies et données différentes. Ces disparités ne contredisent pas nos résultats ni notre analyse. L'augmentation de la productivité du *travail utile* reflète donc, en partie, des mutations dans la structure

productive des économies à haut revenu ayant conduit à une diminution de leur intensité énergétique domestique (Kander *et al.*, 2013) et à une dépendance accrue à l'utilisation d'énergie à l'étranger. Cette constatation fait écho à certaines critiques adressées à la thèse de la courbe de Kuznets environnementale, qui serait en partie due, lorsqu'elle est observée, à la délocalisation des pollutions (Dinda, 2004 ; Van Alstine et Neumayer, 2008).

Tableau 5. Part des émissions de CO₂ importées (net des émissions exportées) dans les émissions totales de CO₂ induites par la demande finale (approche consommation) en 1970 et 2010. Des valeurs négatives indiquent que le pays est exportateur net de CO₂

	1970	2010
Allemagne	- 3,69	6,14
France	1,27	30,56
Japon	- 30,97	16,17
Royaume-Uni	- 0,12	31,39
États-Unis	- 1,98	12,09
Moyenne	- 7,10	19,27

Les valeurs sont prises à date fixe car les séries de CO₂ en approche consommation ne remontent pas au-delà de 1970. L'usage des sols, les changements d'usage des sols et la foresterie sont exclus.

Source : calculs des auteurs d'après Eora Input-Output Database version 199.82 (Lenzen *et al.*, 2013, 2012)

Tableau 6. Part du CO₂ importé dans les émissions totales de CO₂ induites par la demande finale en 2010 ou année récente

	Eora26 – Année 2010	Exiobase3 – Année 2010	Nakano <i>et al.</i> (2009) – Année 2000	Peters <i>et al.</i> (2011) – Année 2004
Allemagne	6,39	8,08	15	19,17
France	29,67	30,38	26	27,54
Japon	22,29	0,80	21	13,51
R-U.	32,88	19,06	27	19,68
E-U.	12,68	5,89	13	8,27
Moyenne	20,78	12,84	20,40	17,64

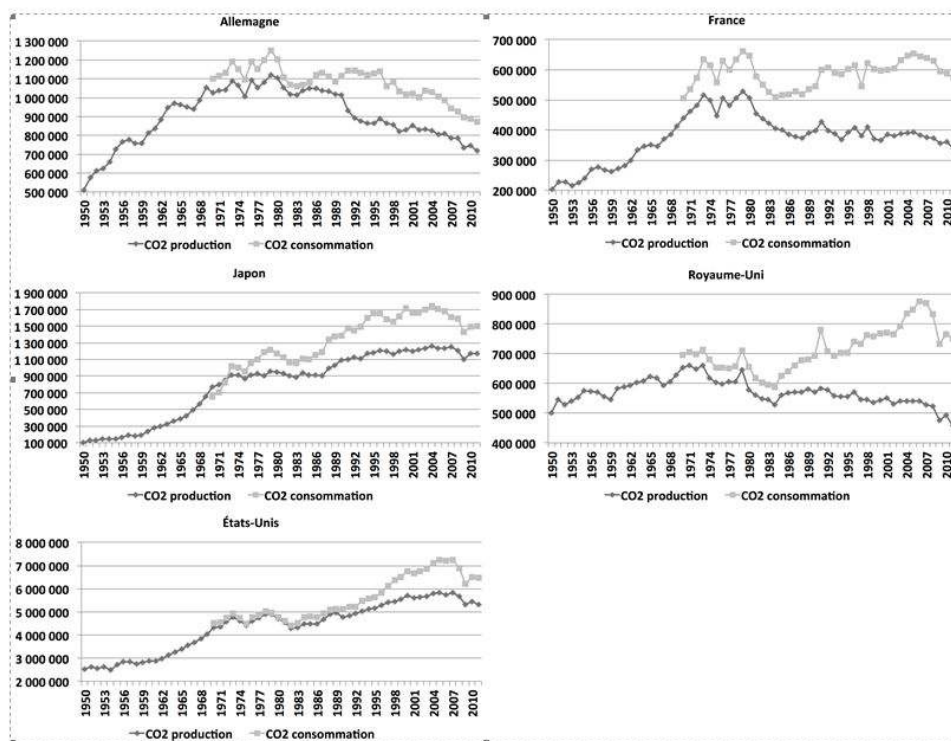
Les données de Eora26, Exiobase3 ont été collectées à partir du *Environmental Footprint Explorer* (Stadler *et al.*, 2015)

Sources : calculs des auteurs d'après les données des bases Eora26 (version harmonisée à 26 secteurs de la base Eora 199.82 que nous utilisons, d'où des valeurs légèrement différentes), Exiobase3 et des articles de Nakano *et al.* (2009) et Peters *et al.* (2011).

- 41 La Figure 2 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 dans la période néolibérale, bien que nettement plus faible qu'au cours de la période fordiste, lorsque les émissions totales induites par la consommation dans ces pays sont prises en compte : entre 1974 et 2011, les émissions des cinq principaux pays à haut revenu mesurées en approche consommation ont crû de 24,2 %, à un taux annuel moyen de 0,59 %, contre une augmentation de 99,62 % en approche production pour la période fordiste (1950-1974), ce qui correspond à une croissance annuelle moyenne de 2,92 %. L'examen des trajectoires individuelles indique que seule l'Allemagne a une trajectoire structurelle de décroissance des émissions, quelle que soit la mesure considérée. On peut y voir d'une part la marque de ses politiques pionnières en matière de transition énergétique (Strunz, 2014), d'autre part celle des politiques néolibérales de réduction de la demande interne qui ont orienté son économie vers l'exportation. Allemagne mise à part, la dynamique est en fait celle d'une progression continue interrompue par deux diminutions significatives dans un contexte de récession, d'abord dans la seconde moitié des années 1970, en réaction aux deux chocs pétroliers, puis avec la crise de 2007-2008, précédée elle aussi par une hausse importante du prix des hydrocarbures. Entre ces deux chocs, le néolibéralisme est un régime extensif en énergie. On précise ici que le CO₂ en approche consommation est une approximation prudente de l'utilisation d'énergie à l'étranger, puisqu'une partie de celle-ci provient d'énergies n'émettant pas de CO₂ : la dépendance à l'énergie incorporée aux importations est donc sous-estimée par cette approximation qui se limite aux seules énergies émettrices de CO₂.

Figure . Total des émissions de CO₂ pour les cinq pays mesurées en approches production et consommation (milliers de tonnes, 1950-2011)



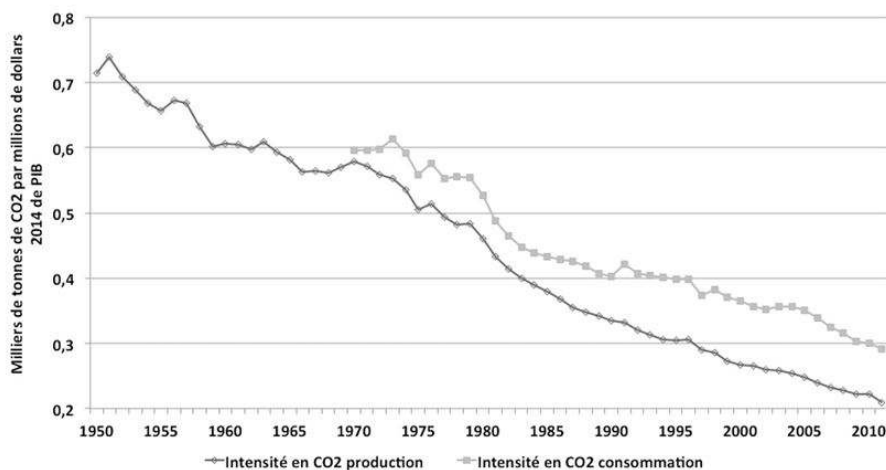
Concernant les émissions en approche production, nous prenons ici les estimations du CDIAC afin de remonter jusqu'à 1950. Les émissions en approche de la base Eora sont basées sur les estimations de la base Edgar qui commence en 1970 : elles sont légèrement supérieures à celles du CDIAC, mais les trajectoires sont identiques. Les émissions en approche production présentées sur ce graphique sont donc une estimation prudente

Sources : calculs des auteurs d'après CDIAC (émissions en approche production) et Eora Input-Output Database (émissions en approche consommation)

- 42 La mise en évidence de la délocalisation de l'utilisation de l'énergie fait apparaître sous un jour nouveau le phénomène d'intensification de l'utilisation de l'énergie souligné dans le paragraphe précédent. Si la relation sociale à l'énergie 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.
- 43 Nous l'avons dit, les mesures de l'exergie et du *travail utile* n'existent pas en approche consommation, nous sommes donc contraints pour examiner cette question de faire appel aux données sur les émissions de CO₂. La figure 3 indique que l'intensité carbone totale du PIB (l'inverse de la productivité du CO₂) pour les cinq principaux pays à haut revenu a décliné depuis l'après-guerre. Cette décroissance s'est faite cependant à un rythme inégal. En approche production, on note qu'au cours de la période fordiste (1950-1974), l'intensité carbone du PIB a diminué à un rythme annuel moyen de - 1,57 % contre - 2,26 % sur la période néolibérale (1974-2011). 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 se réfère aux données en approche consommation, la tendance reste la même mais est moins marquée, la baisse s'établissant à seulement -1,8 % 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 . Moyenne géométrique de l'intensité du PIB en CO₂ mesurée en approches consommation et production pour les cinq pays de 1950 à 2011 (milliers de tonnes de carbone par millions de dollars à prix 2014)



La moyenne géométrique permet d'atténuer la sensibilité aux valeurs les plus élevées et donne donc une représentation prudente. Pour les séries concernées les résultats diffèrent cependant peu de la moyenne arithmétique.

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

4. Travail, capital et énergie dans le régime fordiste et le régime néolibéral

- 44 Augmentation de la productivité de l'exergie et déterritorialisation sont les deux faits stylisés qui permettent de caractériser le basculement du fordisme au néolibéralisme en ce qui concerne l'usage de l'énergie. Ces dynamiques énergétiques doivent être articulées aux autres dimensions socio-économiques de ces deux régimes d'accumulation. Cette section propose une analyse exploratoire de cette articulation concernant deux variables macroéconomiques clés que sont la productivité du travail et la part des profits dans la valeur ajoutée.

4.1 Le dynamisme de la productivité du travail dépend de la quantité d'énergie utilisée

- 45 Un des traits qui distingue fortement la période fordiste et la période néolibérale est le rythme de croissance de la productivité du travail (tableau 8). Celle-ci s'accroît en effet à un rythme soutenu pour l'ensemble des pays, soit à un taux, en moyenne, de 4,69 % par an entre 1950 et 1974 contre 1,96 % pour la période néolibérale.

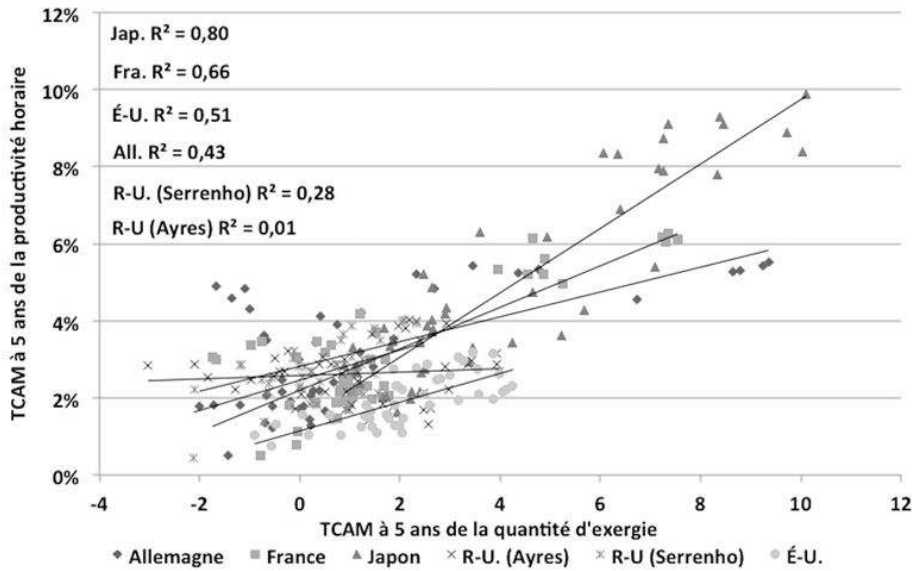
Tableau 7. Croissance annuelle moyenne de la productivité du travail entre 1950 et 2015

	Fordisme	Néolibéralisme
	1950-1974	1974-2015
Allemagne	5,99	2,17
France	5,23	1,93
Japon	7,10	2,28
Royaume-Uni	2,71	1,89
États-Unis	2,44	1,53
Moyenne	4,69	1,96

Source : calculs des auteurs d'après Total Economy Database

- 46 L'importance de l'énergie dans les gains de productivité est un aspect bien établi de la littérature (Rezai *et al.*, 2013). Comme on l'a dit plus haut, la disponibilité de l'énergie est un aspect important de la croissance. Ce lien se retrouve dans la figure 4 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 signalé précédemment (tableau 4) cette relation devient 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 plus intensif dans la période néolibérale est une des causes du ralentissement de la productivité.

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



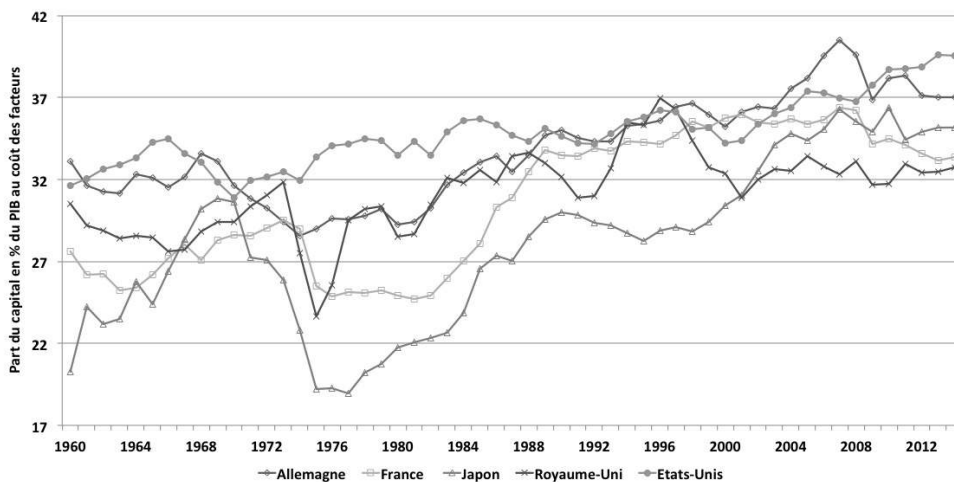
1950-2000 pour le Japon, le Royaume-Uni (Ayres) et les États-Unis, Japon et 1960-2009 pour l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni (Serrenho).

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

4.2 La dimension énergétique de la restauration de la part du capital

- 47 Fordisme et néolibéralisme se distinguent 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 5).

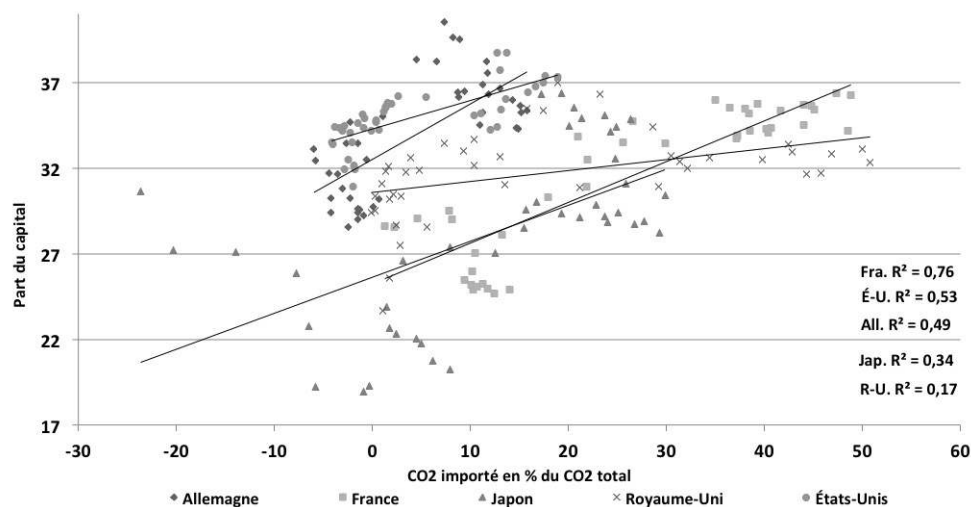
Figure . Part du capital dans le partage de la valeur ajoutée (1960-2014)



Source : calculs réalisés par les auteurs d'après Ameco

- 48 Cette différenciation en termes de répartition de la valeur ajoutée peut, elle aussi, être mise en rapport avec le changement de régime de la relation sociale à l'énergie en ce qui concerne la délocalisation de la consommation de l'énergie et l'intensification de son usage.
- 49 La figure 6 synthétise le tableau 6 et la figure 5 et 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, bien qu'à des degrés divers. Dans une perspective à la Mitchell, qui ancre les rapports de forces sociaux dans la distribution des capacités de contrôle sur l'utilisation de l'énergie, on peut faire l'hypothèse selon laquelle l'éloignement de l'utilisation de l'énergie affaiblit la position du travail face au capital en l'amointrissant de sa capacité à contrôler les flux d'énergie et, par conséquent, en diminuant son pouvoir structurel.

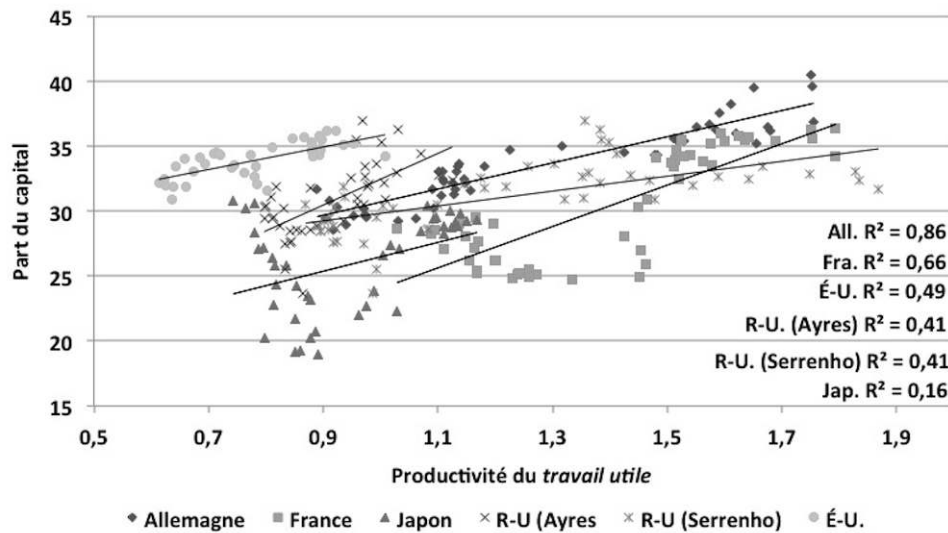
Figure 6. CO₂ importé (en % des émissions totales en approche consommation) et part du capital dans le partage de la valeur ajoutée, 1970-2011



Sources : calculs réalisés par les auteurs d'après les données Eora (CO₂) et Ameco (part du capital)

- 50 La figure 7 montre une corrélation forte et positive entre la productivité du *travail utile* et la part du capital. Cette corrélation est difficile à interpréter. Elle peut simplement signaler un ralentissement dans le taux d'accumulation du capital fixe – et donc de l'intensité du PIB en énergie – qui se traduit par un sous-emploi chronique et/ou une structuration de l'emploi défavorable aux salariés à mesure que le secteur tertiaire augmente son poids relativement à l'industrie. Elle peut également saisir, dans le fil de la logique mise en évidence dans la première section, la perte relative du pouvoir structurel du travail liée aux changements intervenus dans les modes d'extraction et de distribution de l'énergie. Cela a pu faciliter des substitutions capital/travail dans les pays étudiés, une amélioration de l'efficacité énergétique due à l'intensification en capital ainsi que les délocalisations des productions intensives en travail, plus énergivores. Les parts respectives de ces effets devraient être analysées plus précisément. Il doit être bien clair, néanmoins, que l'explication énergétique ne vient pas se substituer aux autres explications du déplacement du partage de la valeur ajoutée, en particulier les explications en termes de financiarisation. Elle en constitue un complément, et l'on peut voir dans les différentes explications un faisceau de facteurs se renforçant mutuellement.

Figure 7. Productivité du *travail utile* et part du capital dans le partage de la valeur ajoutée de 1960 à 2009



1960-2000 pour le Japon, les États-Unis et le Royaume-Uni (Ayres), 1960-2009 pour l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni (Serrenho)

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

- 51 Même si la hausse de la productivité du *travail utile* procède en partie d'un trompe-l'œil, l'augmentation de la part de l'énergie incorporée aux importations, cela n'efface pas totalement de réels gains de productivité qui semblent avoir des effets sur la part du capital dans la VA. Ce point 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*.
- 52 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 en tant qu'ils pourraient manifester une perte de contrôle du monde du travail des pays développés sur les processus énergétiques.

Conclusion

- 53 Notre étude montre que 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. Ces régularités sont distinctes de celles observées dans la période néolibérale. Depuis la seconde moitié des années 1970, en effet, les gains de productivité sont plus faibles et la part du capital dans le partage de la valeur ajoutée s'est rétablie, tandis que l'utilisation de l'énergie est devenue plus intensive et qu'elle tend à se délocaliser.

- 54 Cette contribution se limite à établir le contraste entre ces deux régimes du point de vue du rapport social à l'énergie au niveau macro. Elle n'explique pas dans quelle mesure les changements intervenus dans le rapport social à l'environnement ont contribué à la transition d'un régime à l'autre. Des travaux ultérieurs devraient examiner cette question et, en particulier, proposer une lecture comparatiste de la grande crise des années 1970 et de la grande crise contemporaine. Il serait ainsi particulièrement éclairant d'examiner dans quelle mesure des effets de type seconde contradiction (O'Connor, 1988) ont pu s'ajouter à d'autres facteurs socio-économiques pour produire l'entrée en récession. Il conviendrait aussi de s'interroger sur le rôle joué par les effets combinés de la délocalisation de l'utilisation de l'énergie et de l'accroissement de la productivité du *travail utile* dans la réaffirmation de l'hégémonie du capital et la désarticulation du mouvement ouvrier à partir des années 1980. C'est également une invitation à étudier les débats contemporains en matière de transition énergétique du point de vue de leurs implications socio-politiques.
- 55 Cet article a mis l'accent sur le contraste entre les rapports sociaux à l'environnement propres au régime fordiste et au régime néolibéral dans les pays riches. Cette lecture s'est faite au détriment de l'analyse de la diversité des rapports sociaux à l'environnement entre les différents pays au sein de chaque régime et, plus encore, des différences entre pays du cœur et de la périphérie du capitalisme mondial. S'il est important pour la TR de dépasser le « nationalisme méthodologique » (Peck et Theodore, 2007), cela ne doit pas conduire à écraser la diversité spatiale des régimes d'accumulation. Il est au contraire crucial d'analyser ce qui distingue les différents régimes en termes de compossibilité (Jessop, 2014), c'est-à-dire de relations d'interdépendances asymétriques qui les relient les uns aux autres, interdépendances particulièrement saillantes en ce qui concerne le rapport social à l'environnement et les dynamiques d'échanges inégales qui y sont associées (Clark et Foster, 2009 ; Hornborg et Crumley, 2007)
- 56 D'un point de vue plus général, cette contribution a montré la possibilité et le caractère fécond de l'ouverture d'un dialogue entre la TR et l'économie écologique. À cette fin, deux éléments nous semblent indispensables : d'une part, dénaturiser le rapport à la nature en intégrant pleinement sa dimension sociale, ce à quoi sert le concept de rapport social à l'environnement considéré en tant que sixième forme structurelle du mode de régulation ; d'autre part, intégrer le plus directement possible la matérialité dans l'analyse macroéconomique grâce aux données récentes en termes de flux physique d'énergie et de matière.
- 57 Aglietta M. (1997), *Régulation et crises du capitalisme*, 2nd éd., Paris, Odile Jacob.
- 58 Amable B. (2005), *Les cinq capitalismes : diversité des systèmes économiques et sociaux dans la mondialisation*, Le Seuil, Paris.
- 59 Ayres R., Warr B. (2005), « Accounting for growth: the role of physical work », *Structural Change and Economic Dynamics* 16, p. 181-209, doi : 10.1016/j.strueco.2003.10.003
- 60 Ayres R., Voudouris V. (2014), « The economic growth enigma : capital, labour and useful energy? », *Energy Policy* 64, p. 16-28, doi : 10.1016/j.enpol.2013.06.001
- 61 Barca S. (2011), « Energy, property, and the industrial revolution narrative », *Ecological Economics* 70, p. 1309-1315, doi : 10.1016/j.ecolecon.2010.03.012
- 62 Becker J., Raza W. (2000), « Theory of regulation and political ecology: an inevitable separation? », *Économie et Sociétés, Théorie de la Régulation*, p. 55-70.

- 63 Boyer, R. (2004), *Théorie de la régulation. Tome 1 : les fondamentaux*, Paris, La Découverte.
- 64 Boyer R., Saillard Y. (2002), *Regulation Theory: The State of the Art*, Routledge.
- 65 Bruns S.B., Gross C., Stern D.I. (2014), « Is there really granger causality between energy use and output? », *The Energy Journal* 35, doi : 10.5547/01956574.35.4.5
- 66 Chen P.-Y., Chen S.-T., Chen C.-C. (2012), « Energy consumption and economic growth — New evidence from meta analysis », *Energy Policy* 44, p. 245-255. doi : 10.1016/j.enpol.2012.01.048
- 67 Chester L. (2014), *Understanding the Conjunction of Capitalism's Ecological, Energy and Economic Crises for A Successful Climate Change Exit Strategy*, Presented at the Association for Heterodox Economics Conference, London, University of Greenwich.
- 68 Chester L. (2010), « Determining the economic-environment relation: a regulationist approach », *International Journal of Green Economics* 4, p. 17-42.
- 69 Clark B., Foster J.B. (2009), « Ecological imperialism and the global metabolic rift: unequal exchange and the guano/nitrates trade », *International Journal of Comparative Sociology* 50, p. 311- 334, doi : 10.1177/0020715209105144
- 70 Crafts N. (2004), « Steam as a general purpose technology: a growth accounting perspective », *The Economic Journal* 114, p. 338 – 351.
- 71 Csereklyei Z., Varas M. del M.R., Stern D.I. (2016), « Energy and economic growth: the stylized facts », *The Energy Journal* 37, doi : <http://dx.doi.org/10.5547/01956574.37.2.zcse>.
- 72 Davis S.J., Caldeira K. (2010), « Consumption-based accounting of CO₂ emissions », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, p. 5687-5692, doi : 10.1073/pnas.0906974107
- 73 Debeir J.-C., Deléage J.-P., Hémerly D. (2013), *Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance*, 2nde édition. Paris, Flammarion.
- 74 Diamond J. (2006), *Effondrement : comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*, Paris, Gallimard.
- 75 Dinda S. (2004), « Environmental Kuznets curve hypothesis: a Survey », *Ecological Economics* 49, p. 431-455, doi : 10.1016/j.ecolecon.2004.02.011
- 76 Drummond I., Marsden T.K. (1995), « Regulating sustainable development », *Global Environmental Change* 5, p. 51-63.
- Élie 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*, [En ligne], 12 | 2e semestre / Autumn 2012, mis en ligne le 19 décembre 2012, consulté le 20 décembre 2016. URL : <http://regulation.revues.org/9951>
- 77 Felipe J., McCombie J.S.L. (2015), *The Aggregate production function and the measurement of technical change: Not Even Wrong*, Edward Elgar.
- 78 Fischer-Kowalski M., Haberl H. (1993), « Metabolism and colonization. Modes of production and the physical exchange between societies and nature », *Innovation in Social Sciences Research* 6, 415-442.
- 79 Fressoz J.-B. (2013), « Pour une histoire désorientée de l'énergie », *Entropia. Revue d'étude théorique et politique de la décroissance*.

- 80 Fressoz J.-B., Bonneuil C. (2016), *L'évènement anthropocène : La Terre, l'histoire et nous*, Paris, Éditions Points.
- 81 Fressoz J.-B., Graber F., Locher F., Quenet G. (2014), *Introduction à l'histoire environnementale*, Paris, La Découverte.
- 82 Gibbs D. (1996), « Integrating sustainable development and economic restructuring: A role for Regulation Theory? », *Geoforum* 27, p. 1-10.
- 83 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* 2014.97.
- 84 Gowdy J., Giampietro M., Ramos-Martin J., Mayumi K. (2009), « Incorporating biophysical foundations in a hierarchical model of societal metabolism », in Holt, R.P.F., Pressman, S., Spash, C.L. (Eds.), *Post Keynesian and Ecological Economics: Confronting Environmental Issues*, Edward Elgar, Cheltenham, p. 203-220.
- 85 Grubler A. (2012), « Grand designs: historical patterns and future scenarios of energy technological change. Historical Case Studies of Energy Technology Innovation », in *The Global Energy Assessment*, Cambridge University Press.
- 86 Hoover K.D. (2008), « Causality in economics and econometrics », *The new Palgrave dictionary of economics* 2.
- 87 Hornborg A. (2012), *Global Ecology and Unequal Exchange: Fetishism in a Zero-Sum World*, Routledge.
- 88 Hornborg A., Crumley C.L. (2007), *The World System and the Earth System: global socioenvironmental change and sustainability since the Neolithic*, Left Coast Press.
- 89 Hunt T.L. (2007), « Rethinking Easter island's ecological catastrophe », *Journal of Archaeological Science* 34, p. 485-502, doi : 10.1016/j.jas.2006.10.003
- 90 IEA, OECD, Eurostat (2005), *Energy statistics manual*.
- 91 Jessop B. (2014), « Capitalist diversity and variety: variegation, the world market, compossibility and ecological dominance », *Capital & Class* 38, p. 45-58, doi : 10.1177/0309816813513087
- 92 Kalimeris P., Richardson C., Bithas K. (2014), « A meta-analysis investigation of the direction of the energy-GDP causal relationship: implications for the growth-degrowth dialogue », *Journal of Cleaner Production* 67, p. 1-13, doi : 10.1016/j.jclepro.2013.12.040
- 93 Kander A., Malanima P., Warde P. (2013), *Power to the people: energy in Europe over the last five centuries*, Princeton University Press.
- 94 Keucheyan R. (2014), *La nature est un champ de bataille. Essai d'écologie politique*. Paris, Éditions Zones.
- 95 Koch M. (2011), *Capitalism and climate change: theoretical discussion, historical development and policy responses*, Palgrave Macmillan.
- 96 Krausmann F., Fischer-Kowalski M., Schandl H., Eisenmenger N. (2008), « The global sociometabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories », *Journal of Industrial Ecology* 12, p. 637-656, doi : 10.1111/j.1530-9290.2008.00065.x

- 97 Lenzen M., Kanemoto K., Moran D., Geschke A. (2012), « Mapping the structure of the world economy », *Environmental Science and Technology* 46, p. 8374-8381, doi : 10.1021/es300171x
- 98 Lenzen M., Moran D., Kanemoto K., Geschke A. (2013), « Building Eora : a global multi-region input-output database at high country and sector resolution », *Economic Systems Research* 25, p. 20- 49, doi : 10.1080/09535314.2013.769938
- 99 Lipietz A. (1997), « The post-Fordist world: labour relations, international hierarchy and global ecology », *Review of International Political Economy* 4, p. 1-41.
- 100 Lipietz A. (1995), « Écologie politique régulationniste ou économie de l'environnement ? » *Théorie de la Régulation : l'état des savoirs*, Boyer R. et Saillard Y. (dir.), Paris, La Découverte, p. 350-356.
- 101 Loiseau B., Mazier J., Winter M.-B. (1977), « Rentabilité du capital dans les économies dominantes : des tensions accrues », *Économie et statistique* 86, p. 39-54, doi : 10.3406/estat.1977.6111
- 102 Malm A. (2016), *Fossil capital: the rise of steam power and the roots of global warming*, London ; New York, Verso.
- 103 Martinez-Alier J., Kallis G., Veuthey S., Walter M., Temper L. (2010), « Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages », *Ecological Economics* 70, p. 153-158, doi : 10.1016/j.ecolecon.2010.09.024
- 104 Mazier J., Basle M., Vidal J.-F. (1993), *Quand les crises durent*, 2nde édition, Paris, Éditions Economica.
- 105 Menegaki A.N. (2014), « On energy consumption and GDP studies: a meta-analysis of the last two decades », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, p. 31-36, doi : 10.1016/j.rser.2013.08.081
- 106 Mitchell T. (2013), *Carbon democracy: le pouvoir politique à l'ère du pétrole*, Paris, La Découverte.
- 107 Moran D.D., Lenzen M., Kanemoto K., Geschke A. (2013), « Does ecologically unequal exchange occur ? », *Ecological Economics* 89, p. 177-186, doi : 10.1016/j.ecolecon.2013.02.013
- 108 Muradian, R., Walter, M., Martinez-Alier, J. (2012), « Hegemonic transitions and global shifts in social metabolism: implications for resource-rich countries. Introduction to the special section », *Global Environmental Change* 22, p. 559-567. doi : 10.1016/j.gloenvcha.2012.03.004
- 109 Nakano S., Okamura A., Sakurai N., Suzuki M., Tojo Y., Yamano N. (2009), « The measurement of CO₂ embodiments in international trade: evidence from the harmonised input-output and bilateral trade database », *OECD STI Working Paper 2009-3*.
- 110 O'Connor J. (1988), « Capitalism, nature, socialism: a theoretical introduction », *Capitalism Nature Socialism* 1.
- 111 Omri A. (2014), « An international literature survey on energy-economic growth nexus : evidence from country-specific studies », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38, p. 951-959, doi : 10.1016/j.rser.2014.07.084
- 112 Payne J.E. (2010), « Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth », *Journal of Economic Studies* 37, p. 53-95. doi : 10.1108/01443581011012261

- 113 Peck J., Theodore N. (2007), « Variegated capitalism », *Progress in Human Geography* 31, p. 731-772, doi : 10.1177/0309132507083505
- 114 Peters G.P. (2008), « From production-based to consumption-based national emission inventories », *Ecological Economics* 65, p. 13-23, doi : 10.1016/j.ecolecon.2007.10.014
- 115 Peters G.P., Davis S.J., Andrew R. (2012), « A synthesis of carbon in international trade », *Biogeosciences* 9, p. 3247-3276, doi : 10.5194/bg-9-3247-2012
- 116 Peters G.P., Minx J.C., Weber C.L., Edenhofer O. (2011), « Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008 », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, p. 8903-8908.
- 117 Przeworski A. (2009), « Conquered or granted? A history of suffrage extensions », *British Journal of Political Science* 39, doi : 10.1017/S0007123408000434
- 118 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 *Capital Contre Nature, Actual Marx Confrontation*, Harribey J.-M., Löwy L. (dir.), Presses Universitaires de France, Paris, p. 123-146.
- 119 Rezaei A., Taylor L., Mechler R. (2013), « Ecological macroeconomics: an application to climate change », *Ecological Economics* 85, p. 69-76. doi : 10.1016/j.ecolecon.2012.10.008
- 120 Sato M. (2014), « Embodied carbon in Trade: a survey of the empirical literature », *Journal of Economic Surveys* 28, p. 831-861, doi : 10.1111/joes.12027
- 121 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, p. 704-715, doi : 10.1016/j.energy.2014.08.068
- 122 Serrenho A.C. Warr B., Sousa T., Ayres R.U., Domingos T. (2016), « Structure and dynamics of useful work along the agriculture-industry-services transition: Portugal from 1856 to 2009 », *Structural Change and Economic Dynamics* 36, p. 1-21, doi : 10.1016/j.strueco.2015.10.004
- 123 Silver B.J. (2003), *Forces of labor: workers' movements and globalization since 1870*, Cambridge studies in comparative politics, Cambridge University Press.
- 124 Solow R.M. (1957), « Technical change and the aggregate production function », *The Review of Economics and Statistics* 39, p. 312, doi : 10.2307/1926047
- 125 Stadler K., Lonka R., Moran D., Pallas G., Wood R. (2015), *The Environmental footprints explorer - a database for global sustainable accounting*, Presented at the 29th EnviroInfo and 3rd ICT4S Conference, Copenhagen, Denmark.
- 126 Strunz S. (2014), « The German energy transition as a regime shift », *Ecological Economics* 100, p. 150-158, doi : 10.1016/j.ecolecon.2014.01.019.
- 127 Toda H.Y., Yamamoto T. (1995), « Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes », *Journal of Econometrics* 66, p. 225-250, doi : 10.1016/0304-4076(94)01616-8
- 128 Tronti M. (1977), « Marx à Detroit », in *Ouvriers et capital*, Christian Bourgois, Paris.
- 129 Van Alstine J., Neumayer E. (2008), « The environmental Kuznets curve », in Gallagher, K.P. (Ed.), *Handbook on trade and the environment*.

- 130 Vidal J.-F. (2003), « Régimes de croissance post-fordistes : comparaison des États-Unis, du Japon et de la France », in *Forum de la Régulation*.
- 131 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, p. 1904-1917, doi : 10.1016/j.ecolecon.2010.03.021
- 132 Warr B., Ayres R.U. (2012), « Useful work and information as drivers of economic growth », *Ecological Economics* 73, p. 93-102, doi : 10.1016/j.ecolecon.2011.09.006
- 133 Warr B.S., Ayres R.U. (2010), « Evidence of causality between the quantity and quality of energy consumption and economic growth », *Energy* 35, p. 1688-1693. doi : 10.1016/j.energy.2009.12.017
- 134 Weisz H., Fischer-Kowalski M., Grunbuhel C.M., Haberl H., Krausmann F., Winiwarter V. (2001), « Global environmental change and historical transitions », *Innovation: The European Journal of Social Sciences* 14, p. 117-142, doi : 10.1080/13511610120062317
- 135 Wiedenhofer D., Rovenskaya E., Haas W., Krausmann F., Pallua I., Fischer-Kowalski M. (2013), « Is there a 1970s syndrome? Analyzing structural breaks in the metabolism of industrial economies », *Energy Procedia* 40, p. 182-191, doi : 10.1016/j.egypro.2013.08.022
- 136 Wilson C., Grubler A. (2011), « Lessons from the history of technological change for clean energy scenarios and policies », *Natural Resources Forum* 35, p. 165-184. doi : 10.1111/j.1477-8947.2011.01386.x
- 137 Zellner A. (1979), « Causality and econometrics », *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 10, p. 9 – 54, doi : 10.1016/0167-2231(79)90002-2
- 138 Zuindeau B. (2007), « Régulation school and environment: theoretical proposals and avenues of research », *Ecological Economics* 62, p. 281-290. doi : 10.1016/j.ecolecon.2006.12.018
- 139 Zuindeau B. (1999), *L'analyse des externalités environnementales : un essai régulationniste*, Presented at the Sixièmes journées de l'IFRESI, Lille, France.
-

NOTES

1. On revient plus loin sur la définition et le choix de ces mesures.

2. L'utilisation de fonctions de production agrégées soulève bien sûr des questions, même dans les formes sophistiquées utilisées permettant de dissocier productivités marginales et part des facteurs dans le produit total. Les facteurs ne sont pas mesurés par une même unité. Dès lors, rien ne garantit que la relation testée soit bien une relation technique reflétant la combinaison productive des économies considérées et non une égalité comptable déguisée. Il faut en effet que toutes les variables soient mesurées en unité physique pour que la fonction de production ait un sens. Et encore, cela seulement au niveau microéconomique car il paraît illusoire de résumer l'ensemble du tissu productif d'une économie à une simple fonction (Felipe et McCombie, 2015). De plus la complémentarité et l'interdépendance des facteurs – soulignée par les auteurs (Ayres et Voudouris, 2014 ; Ayres et Warr, 2005) – rend problématique de quantifier leur apport exact

par leur productivité marginale : quelle interprétation économique attribuer à celle-ci dans la mesure où un facteur ne peut augmenter le produit total qu'en combinaison productive avec les autres ? Enfin, cela pose également la question d'un double comptage éventuel, car l'énergie n'accomplit un *travail physique* que par la médiation du travail et du capital.

3. L'efficacité thermodynamique est le ratio du travail utile sur l'exergie, tous deux sont définis dans le tableau 1.

4. En économétrie, la causalité au sens de Granger signifie que l'inclusion des valeurs passées d'une variable explicative (*i.e.* Énergie_{t,i}) 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,i}). Le test de Toda-Yamamoto est une causalité de Granger augmentée robuste à de possibles ordres d'intégration différents entre les variables (Toda et Yamamoto, 1995).

5. Il y a bien sûr en arrière-plan les débats sur les différentes conceptions de la causalité en économie et en économétrie. Celle de Granger cherche la « vérité » dans les données et laisse peu ou pas de place au raisonnement théorique. Voir Zellner (1979) et Hoover (2008) pour une discussion.

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 Eora).

7. Les ratios *travail utile* / PIB, *exergie* / PIB et deux ratios d'énergie primaire sur PIB. Il est clair que le peu de recul chronologique pour plusieurs séries pose problème quant à la robustesse des tests. Néanmoins les quatre séries ont toutes renvoyé des résultats cohérents entre eux. Il est par ailleurs cohérent d'observer une rupture structurelle liée à l'énergie dans la décennie 1970-1980 si l'on admet que la rupture de régime d'accumulation est établie et constitue un acquis théorique et empirique du programme de recherche régulationniste, en particulier pour les pays considérés.

8. 90 % des dates significatives renvoyées par les tests de rupture structurelle sont situées entre 1970 et 1981.

9. 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*. La comparaison entre pays doit donc être faite avec prudence. L'observation des trajectoires individuelles est plus pertinente.

ABSTRACTS

In this contribution, we investigate the social relation to energy within the fordist accumulation regime and within the financialized and globalized capitalism that emerged in the 1970s. We aim at identifying shifts in the economy-energy nexus occurring alongside transformations in other fields. We analyse empirically and comparatively energy use in the main high income countries (France, Germany, Japan, United Kingdom, United States) from 1950 to 2010. Fordism is characterised by an extensive energy use and an intensive labour use. In particular, high labour productivity gains are fueled by a fast increase in energy quantity integrated into the production

process. From 1970 onwards, a decrease in the growth of energy quantity goes together with a decrease in labour productivity growth and contributes to the erosion of the fordist social compromise. The emergence of neoliberalism entails a higher share of capital in income distribution and comes with a more and more intensive energy use, the productivity of which starts to increase noticeably, as well as with an increasing relocation of energy use.

Dans cette contribution, nous examinons la relation sociale à l'énergie 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 les modalités d'usage de l'énergie qui accompagnent 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 (Allemagne, États-Unis, France, Japon et 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 coïncide avec le ralentissement de la productivité du travail et contribue 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 ; d'autre part, par la délocalisation de l'utilisation de l'énergie.

En esta contribución nosotros examinamos la relación social a la energía (o con la energía) en el seno del régimen de acumulación fordista y del capitalismo financiarizado y mundializado que se ha implementado desde los años 1970. El objetivo es el de identificar las rupturas en las modalidades de uso de la energía que acompañaron las transformaciones observadas en otros dominios. Para hacer eso procedimos a un análisis empírico y comparativo de la utilización de la energía en las principales economías con alto nivel de ingreso (Alemania, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido) entre 1950 y 2010. El fordismo se caracteriza por una utilización extensiva de la energía y una utilización intensiva del trabajo. Los fuertes incrementos de la productividad de este último son alimentados especialmente por un aumento rápido de la cantidad de energía incorporada al proceso de producción. A partir de 1970, la disminución del crecimiento de la cantidad de energía coincide con la disminución del ritmo de la productividad del trabajo y contribuye a la erosión del compromiso social fordista. La emergencia del Neoliberalismo se traduce por una restauración de la parte del capital en la reparto del valor agregado, y se acompaña, por una parte, de una utilización cada vez mas intensiva de la energía, pues la productividad de esta comienza a aumentar fuertemente en los principales países con altos ingresos y, por otra parte, por la deslocalización de la utilización de la energía.

INDEX

Palabras claves: Palabras clave : relación social con la energía, fordismo, neoliberalismo, régimen de acumulación, energía, trabajo útil.

Keywords: social-energy relationship, fordism, neoliberalism, accumulation regime, exergy, useful work

Mots-clés: relation sociale à l'énergie, fordisme, néolibéralisme, régime d'accumulation, exergie, travail utile

AUTHORS

LOUISON CAHEN-FOUROT

Doctorant, Centre d'Économie de Paris-Nord, université Paris-13, louison.cahen-fourot@univ-paris13.fr

CÉDRIC DURAND

Maître de conférences HDR, Centre d'Économie de Paris-Nord, université Paris-13, cdurand@ehess.fr