



HAL
open science

Les enseignements de quelques modèles macroéconomiques écologiques des économistes keynésiens

Nicolas Piluso

► **To cite this version:**

Nicolas Piluso. Les enseignements de quelques modèles macroéconomiques écologiques des économistes keynésiens. *Economie appliquée*, 2022, 2, pp.51-81. 10.48611/isbn.978-2-406-12814-4.p.0051 . hal-03571794

HAL Id: hal-03571794

<https://hal.science/hal-03571794>

Submitted on 14 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les enseignements de quelques modèles macroéconomiques écologiques des économistes keynésiens

Nicolas Piluso, Maître de conférences HDR à l'Université Toulouse III Paul Sabatier

Résumé : La macroéconomie keynésienne a connu depuis les années 2000 des développements importants sur la thématique du réchauffement climatique et des contraintes environnementales pesant sur l'économie. L'objet de cet article est de réaliser une synthèse des enseignements de ces principaux modèles qui partent pour la plupart d'une critique radicale de l'approche néoclassique sur la question écologique. Les post-keynésiens mettent en évidence la nécessité d'une intervention publique forte pour modifier notre modèle de croissance actuel. Les autres keynésiens soulignent la modification des effets des politiques économiques lorsqu'elles sont couplées à une politique climatique.

Mots-clés : croissance, taxe carbone, politique économique, réchauffement climatique, modèle keynésien.

Codes JEL : E12, E60, Q54, Q58

Lessons from some ecological macroeconomic models of Keynesian economists

Abstract. Keynesian macroeconomics has known since the 2000s important developments on the theme of global warming and more broadly environmental constraints weighing on the economy. The purpose of this article is to synthesize the lessons learned from these main models which mostly start from a radical critique of the neoclassical approach on the ecological question. Post-Keynesians highlight the need for strong public intervention to modify our current growth model. The other Keynesians underline the modification of the effects of economic policies when they are coupled with a climate policy.

Key words: growth, carbon tax, economic policy, global warming, keynesian modeling.

JEL codes: E12, E60, Q54, Q58

Auteur

Nicolas Piluso a soutenu sa thèse intitulée « Chômage et marché financier » en 2006 à l'Université de Paris Ouest la Défense. Il obtient un poste de Maître de conférences en 2010 à l'Université de Toulouse III Paul Sabatier et commence alors à étudier le champ de l'économie de l'environnement. Il obtient son Habilitation à Diriger les Recherches en 2016.

Short bio

Nicolas Piluso defended his thesis entitled "Unemployment and Financial Markets" in 2006 at the University of Paris Ouest la Défense. He obtained a position as Associate Professor in 2010 at the University of Toulouse III Paul Sabatier and began to study the field of environmental economics. He obtained his Habilitation to Supervise Research in 2016.

Les enseignements de quelques modèles macroéconomiques écologiques des économistes keynésiens

Nicolas Piluso*

Comme le remarque Eric Berr dans l'ouvrage de 2019 intitulé *L'économie post-keynésienne*, la prise en compte des questions environnementales et écologiques par les économistes keynésiens a été relativement tardive. Depuis les années 2010 néanmoins, de nombreuses réflexions et modèles ont été développés pour fournir une grille de lecture alternative à l'approche néoclassique. Partant d'une critique de l'approche des néoclassiques qui s'inscrit dans la tradition bien connue de la durabilité faible, les économistes keynésiens ont construit des modèles qui s'inscrivent dans la philosophie de la durabilité forte et qui utilisent les cadres théoriques de la croissance kaleckienne ou de la modélisation stock-flux cohérente.

Les modèles de la synthèse néoclassico-keynésienne, qui conservent avec plus ou moins de fidélité un certain nombre d'enseignements de la *Théorie générale* de Keynes, ont eux aussi été adaptés avec une prise en compte de l'empreinte carbone ou d'autres types de contrainte écologique.

L'objet de cet article est de synthétiser les principaux enseignements de quelques modèles « verts » récents. Certains résultats sont contradictoires, mais nous verrons que globalement, des conclusions communes à tous ces modèles peuvent être tirées.

Nous partirons de la critique (formulée par les post-keynésiens) des modèles « mainstream » (section 1). Cette critique est le fondement de la construction de modèles alternatifs, qu'ils aient pour cadre théorique la croissance kaleckienne (section 2) ou la modélisation stock-flux cohérente (section 3). D'une manière générale, ces modèles alertent sur le fait que notre modèle de croissance actuel n'est plus tenable, et sur la nécessité d'une intervention publique forte en matière écologique. En cela, les post-keynésiens se démarquent clairement des modèles standard. Les modèles « verts » de la synthèse néoclassique sont présentés dans une quatrième section. Ils prennent leur place dans le débat en montrant que l'intégration de considérations environnementales modifie les effets des politiques macroéconomiques keynésiennes.

1. Une critique des modèles « mainstream »

Les post-keynésiens ont construit leur réflexion en partant d'une critique des modèles néoclassiques écologiques (Rezai, Taylor et Mechler, 2013 ; Taylor, Rezai et Foley, 2016).

Les économistes standard suivent la tradition néoclassique et analysent les impacts du réchauffement climatique avec des modèles de croissance macroéconomique dans lesquels cette dernière est tirée par l'offre. Les facteurs capital et travail, de même que les ressources naturelles sont pleinement utilisées, si bien que les dépenses d'investissement traditionnel et d'investissement vert visant à réduire l'impact climatique de l'activité économique sont déterminées par l'épargne disponible selon la théorie des fonds prêtables. Suivant Keynes (1936), cet ensemble d'hypothèses et de résultats est connu sous le nom de « loi de Say ».

Ces modèles recherchent la maximisation inter-temporelle du bien-être ou de l'utilité des agents économiques (qui augmente avec la consommation à taux décroissant) par le choix de la quantité d'émissions de CO₂ à réduire à chaque période pour minimiser leur impact négatif

* Maître de conférences HDR à l'Université Toulouse III Paul Sabatier

sur la production. Pour ce faire, les agents économiques attribuent une valeur à des biens non-marchands comme les éco-systèmes ou la vie humaine, et affichent une certaine préférence pour le présent à travers la détermination d'un taux d'actualisation. Ce taux exprime la préférence qu'ont les agents économiques pour le présent et conduit à déprécier le bien-être ressenti par les générations futures.

Lorsque les agents ont une forte préférence pour le présent, les coûts actuels associés à l'atténuation du changement climatique sont évalués à leur prix plein. Par contre, les dommages climatiques qui se produiront dans des décennies futures sont évalués à un prix beaucoup plus bas car ils n'auront un impact que sur les générations futures.

À l'état d'équilibre, la production augmente au rythme de la croissance de la population active et du progrès technologique exogène qui impacte la productivité des facteurs ; le prix des facteurs de production s'ajuste de sorte que tous les marchés s'équilibrent. Ce type de modèles exclut des situations telles que le chômage de masse et le surendettement. Les anticipations rationnelles des agents économiques combinées aux forces stabilisatrices des marchés permettent d'obtenir de façon systématique la trajectoire optimale de l'économie. Le modèle est globalement stable avec une économie qui finira toujours par se remettre du réchauffement climatique. Par conséquent, le problème du changement climatique est réduit à un arbitrage entre dépenser de l'argent aujourd'hui pour atténuer le changement climatique ou consommer plus aujourd'hui au détriment de dommages climatiques plus élevés à l'avenir. L'une des questions clés à laquelle il faut répondre dans ce cadre est alors le choix du taux d'actualisation.

Selon les économistes Taylor, Rezai et Foley, le modèle de Nordhaus présente de graves inconvénients techniques et ses hypothèses clés ne sont pas convaincantes. La main-d'œuvre sera-t-elle pleinement employée si le réchauffement climatique réduit considérablement le niveau de production? L'agent d'optimisation a-t-il un sens institutionnel? Selon nos économistes, la réponse est négative.

Par ailleurs, comme le relève Stanislas Augier (2019, p. 6) :

« Ce genre de modèle présente des hypothèses excessivement optimistes en termes de fonction de dommage : le changement climatique n'a d'impact que sur le PIB, pas sur le capital. De plus, la fonction des dommages est plutôt « optimiste » car les dommages climatiques ne dépendent que du carré de la température. Cela conduit à un faible niveau de dommages de 10,2% de la production pour une augmentation de la température de + 6°C, ce qui semble assez optimiste »¹.

Enfin, le calcul des modèles d'optimisation dépend de plusieurs paramètres difficiles à estimer, comme la mesure numérique du bien-être humain, la valeur monétaire de tous les dommages climatiques actuels et prévus, ou encore la valeur relative des avantages futurs par rapport aux avantages actuels².

Les économistes « mainstream » ont également développé des modèles d'équilibre général « verts ». Ils représentent l'économie comme un ensemble de secteurs économiques liés (marchés du travail, des capitaux, de l'énergie, etc.). Ces modèles sont résolus en trouvant un ensemble de prix qui ont pour effet d'équilibrer tous les marchés simultanément.

¹ Pour une critique complète du modèle de Nordhaus, voir Keen (2020).

² Pour une argumentation plus approfondie sur ce sujet, voir Woillez, Giraud et Godin (2020).

Comme le soulignent Stanton, Ackerman et Kartha (2009), les équilibres multiples ne peuvent pas toujours être exclus. Lorsque plusieurs équilibres sont présents, les modèles d'équilibre général donnent des résultats indéterminés qui peuvent dépendre des détails de la procédure d'estimation. Pour cette raison, une hypothèse de rendements constants ou décroissants est souvent ajoutée à leurs fonctions de production, une restriction théorique arbitraire qui est connue pour assurer un résultat optimal unique. Étant donné que les rendements d'échelle croissants sont importants pour une modélisation précise des changements technologiques endogènes, les modélisateurs d'équilibre général doivent éviter de simplifier à l'excès leur représentation du secteur de l'énergie et de permettre des résultats de modèle instables.

Les économistes qui suivent la tradition de l'économie écologique, comme Victor (2008) et Jackson (2009), voient le réchauffement climatique sous un autre angle. Ils prônent la « consommation durable ». La durabilité implique alors que le taux de croissance de la consommation par habitant soit faible ou négatif. De plus, le panier de consommation doit être restructuré en faveur de biens moins consommateurs d'énergie. La question qui se pose alors est de savoir si les dépenses d'investissement ou d'atténuation de l'impact climatique augmenteront pour absorber une augmentation de la part d'épargne des revenus. Ce phénomène se produit dans les modèles qui excluent le « paradoxe de l'épargne » de Keynes, qui montre qu'un taux d'épargne plus élevé entraîne une réduction du niveau de la production en raison de la diminution de la part de la consommation dans le revenu.

D'une manière générale, les modèles macroéconomiques post-keynésiens, alternatifs aux modèles néoclassiques, ont une approche en termes de durabilité forte. Contrairement aux néoclassiques, ces économistes adoptent des fonctions de production à facteurs complémentaires et non substituables. Par conséquent, il n'est pas possible, dans un tel cadre, de substituer une ressource à une autre pour assurer un développement durable. Par ailleurs, ces auteurs montrent qu'une croissance durable ne peut en aucun cas être obtenue par la seule force d'ajustement des marchés. Une intervention de l'État et un changement dans les normes sociales qui prévalent jusqu'alors sont indispensables.

2. Le modèle kaleckien « vert » de Fontana et Sawyer (2013-2016) : l'intervention de l'État incontournable pour la transition écologique

Dans les modèles de croissance kaleckiens, le taux de croissance économique est déterminé par la croissance de la demande globale de biens et services, qui elle-même dépend de l'évolution de l'investissement productif. La problématique qui est développée dans ces modèles est la question de savoir si la croissance de la demande globale est suffisante pour correspondre à la croissance de l'offre de travail. L'économie peut-elle donc éviter des situations de sous-emploi d'équilibre ? Les goulets d'étranglement de l'offre, les contraintes de capacité, les déséquilibres de marché au sein de l'économie imposent des contraintes à la croissance et au plein-emploi de la main-d'œuvre.

Le modèle de Fontana et Sawyer conserve ce cadre et y ajoute une contrainte de nature écologique. La croissance économique dépend non seulement de la croissance du stock de capital productif, de la croissance de l'offre de travail, mais aussi de l'utilisation d'un capital naturel et environnemental. La croissance économique est équilibrée si elle autorise la pleine utilisation du stock de capital et de l'offre de travail, mais aussi si elle permet de respecter le rythme de renouvellement des ressources naturelles. C'est donc par l'ajout d'une troisième variable explicative de la croissance, le capital naturel, qu'est introduite la question environnementale.

L'hypothèse de travail qui est adoptée dans l'article est que la croissance de la demande globale de biens et services a tendance à être supérieure à la croissance compatible avec le respect de l'environnement. Les auteurs distinguent ainsi trois taux de croissance :

- le taux de croissance économique lié au taux de croissance du capital productif ; ce dernier constitue à la fois une composante de la demande globale et à la fois un élément de croissance de l'offre de biens puisqu'il assure une augmentation des capacités de production ;
- le taux de croissance économique lié aux taux de croissance de la population active ; le lien entre croissance de la population active et croissance dépend bien sûr de l'évolution de la productivité du travail, de certaines contraintes légales (durée légale du travail), mais aussi de certains paramètres socio démographiques (taux d'activité de la population).
- le taux de croissance économique compatible avec la sauvegarde de l'environnement : il doit correspondre au rythme de croissance des ressources naturelles³.

Les auteurs montrent qu'il n'existe pas de forces du marché spontanées qui aligneraient ces différents types de taux de croissance. Ainsi ils affirment (p.16) que :

« la surutilisation (ou la sous-utilisation) du stock de capital, des ressources en main-d'œuvre ou de «l'empreinte écologique», ne produira pas de changement automatique et auto-ajustable des prix relatifs, de sorte que la surutilisation (ou la sous-utilisation), par exemple, de «l'empreinte écologique» sera éliminée avec une augmentation (diminution) de l'utilisation du stock de capital ou des ressources en main-d'œuvre. Cela signifie qu'au moins à court terme, il ne peut pas être exclu que l'économie connaîtra de graves problèmes environnementaux ainsi qu'une augmentation du chômage (en fonction du taux de croissance du travail par rapport à la croissance réelle) et du stock de capital inactif (également en fonction des taux de croissance) ».

Ce modèle permet de comprendre que l'État doit intervenir de manière active pour assurer que la croissance économique s'établisse à un niveau durable et pour compenser les effets d'une croissance plus faible sur le chômage. Une réduction du temps de travail, un parrainage public de la recherche pour le développement d'innovations vertes permettant de réduire l'empreinte écologique, ou encore des dépenses publiques vertes pour la rénovation de l'habitat, semblent indispensables. Les auteurs pointent également du doigt le fait que la croissance démographique nourrit mécaniquement la croissance du stock de capital et la croissance de la production. Des politiques malthusiennes peuvent s'avérer utiles pour contrôler l'emballement de la croissance.

Dans l'approche postkeynésienne, il n'est plus question de choix dans l'intensité de l'effort de réduction des dommages climatiques comme dans les modèles néoclassiques. En effet, un effort insuffisant, même s'il est justifié par un taux d'actualisation élevé, risque de provoquer un effondrement de l'économie mondiale car les effets déstabilisateurs des marchés financiers et de la dégradation du climat se combinent.

C'est ce que prévoient également certains modèles de prévision stock-flux cohérents.

3. Quelques exemples de modèles stock-flux cohérents écologiques : optimisme ou pessimisme ?

³ On peut d'ailleurs se demander si le taux de croissance économique serait significativement différent de 0, du moins dans les temps habituels de l'économie (année civile voire semestre ou trimestre), dans la mesure où la temporalité de la nature n'a rien à voir avec celle de l'économie.

Parmi les modèles stock-flux cohérents que nous avons recensés, seul le modèle de Naqvi met en évidence la possibilité d'un découplage entre la croissance économique et les dégâts environnementaux grâce aux innovations technologiques (3.1). Les autres modèles mettent plutôt en avant la nécessité d'une politique climatique forte et radicale pour parvenir à contenir le réchauffement climatique (3.2). Le modèle de de Berg, Hartley et Richters (2015) étudie quant à lui une problématique différente, à savoir le lien entre l'augmentation du prix des ressources naturelles et la conjoncture économique (3.3).

3.1. Un modèle SFC optimiste : l'approche de Naqvi (2015)

Naqvi est l'un des premiers postkeynésiens à développer un modèle SFC écologique. Il met en évidence que l'Union Européenne est confrontée à un trilemme consistant à résoudre simultanément trois défis: la croissance économique, la répartition plus juste de la richesse et la sauvegarde de l'environnement. Naqvi propose un modèle stock-flux cohérent dans lequel l'économie est composée de multiples secteurs institutionnels : les entreprises produisant de l'énergie, les ménages, le gouvernement et le secteur financier, qui entretiennent des liens avec l'environnement. L'objet de l'article est d'étudier cinq scénarii : un scénario avec une faible consommation pour atténuer l'impact environnemental, une dégradation du stock de capital en raison des dommages climatiques, la mise en place de taxes sur le carbone, un secteur productif qui consacre une part plus élevée aux énergies renouvelables et enfin des chocs technologiques sur la productivité.

La relation entre l'économie et l'environnement est endogénéisée par le biais du coût d'extraction des ressources naturelles et des émissions de CO₂ qui peuvent affecter la production et le stock de capital. Jusqu'en 2015, les modèles écologiques traitaient des dommages environnementaux comme une externalité négative exogène qui peut être réduite grâce à un marché de droits à polluer ou des taxes sur le carbone, mais sans véritablement prendre en compte les limites planétaires en matière de réchauffement climatique.

Le modèle décrit l'économie de la manière suivante.

Les firmes produisent des biens de consommation et des biens d'équipement grâce à trois facteurs de production : le capital, le travail et l'énergie. Le capital est formé grâce à l'investissement des firmes ; la main d'œuvre est fournie par les ménages, tandis que l'énergie est produite par un secteur producteur d'énergie qui fournit un mélange exogène d'énergie renouvelable et non renouvelable. La production des entreprises est tirée par la demande : c'est la consommation des ménages, les dépenses publiques de l'Etat et l'investissement des firmes qui déterminent la quantité produite. L'économie est financée via le système bancaire qui fournit des prêts aux entreprises et accueille les dépôts des ménages. Le lien entre l'économie et l'environnement est établi grâce à deux hypothèses : la production d'énergie nécessite un intrant qui s'épuise avec le temps, et le processus de production génère des émissions de CO₂ qui s'accumulent dans l'atmosphère.

Pour aborder la problématique de la répartition des revenus, deux classes de ménages sont introduites : les propriétaires du capital social des firmes et des banques d'une part, et les travailleurs qui perçoivent un salaire ou des allocations chômage d'autre part. L'État utilise ses recettes fiscales prélevées sur les firmes, les ménages et les banques pour financer l'investissement public et les allocations chômage. Des bons du Trésor sont émis en cas de déficit public. Les banques conservent l'épargne des ménages. Si la demande de prêt dépasse les dépôts, les banques commerciales demandent une avance à la banque centrale qui traduit une création monétaire endogène, conformément à la tradition postkeynésienne.

Quels sont les résultats des différents scénarii ?

La baisse de la consommation entraîne comme prévu une baisse de la production, une diminution des émissions de CO₂ et une augmentation du chômage.

L'introduction d'un dommage sur le capital en raison du réchauffement climatique génère paradoxalement une production accrue et un chômage plus faible, car les entreprises augmentent leur investissement pour compenser la dépréciation accélérée du stock de capital.

Une taxe environnementale sur les ménages entraîne une réduction de leur revenu réel, ce qui réduit la consommation et la production. Le chômage augmente tandis que la consommation d'énergie et les émissions diminuent. Le revenu réel chute davantage lorsque les ménages sont taxés en lieu et place des entreprises. Lorsque les entreprises sont taxées, les prix de l'énergie et des biens augmentent car la charge fiscale est répercutée sur les consommateurs. Les revenus réels diminuent dans une moindre proportion que lorsque les ménages sont directement taxés.

L'innovation technologique réduit à la fois les émissions et la demande d'énergie. L'output et le chômage restent stables. Le revenu réel augmente et les inégalités de revenu s'affaiblissent. Les résultats du modèle sont donc relativement optimistes puisqu'il montre qu'*il est possible d'augmenter le niveau de vie et de diminuer simultanément les émissions de CO₂*.

Certaines politiques sont des situations à triple gain. L'augmentation de la part des énergies renouvelables réduit les émissions tout en laissant pratiquement inchangées toutes les autres variables de résultats. Les innovations en capital ou en productivité énergétique réduisent à la fois la consommation d'énergie et les émissions, tout en augmentant les revenus réels et en les redistribuant vers les travailleurs.

Ces prévisions plutôt optimistes vont être balayées par des modèles SFC plus complexes, approfondissant la relation entre l'économie et l'environnement.

3.2. Les modèles qui alertent sur l'urgence de la transition écologique

Dans la tradition de Godley et Lavoie (2007), la méthode de résolution d'un modèle SFC est la suivante :

« d'abord, on assigne des valeurs aux différents paramètres en utilisant des faits stylisés raisonnables. Ensuite, on résout le modèle et on trouve un état stationnaire par un processus d'approximations successives. Une fois trouvé l'état stationnaire, on mène des expériences en modifiant une par une les variables exogènes ou les paramètres du modèle significatifs sur le plan économique » (Lavoie et Godley, 2007, p.297).

Dans les articles dont nous faisons la synthèse ci-après, la méthode est différente : il ne s'agit plus de trouver un état stationnaire pour ensuite produire des chocs sur certains paramètres, mais de véritablement utiliser le modèle comme outil de prévision à long terme, sur la base des caractéristiques actuelles de l'économie mondiale ou d'une économie nationale. Cette approche permet ainsi d'anticiper les conséquences à long terme de notre régime actuel de croissance.

3.2.1. Le modèle SFC de Giraud, Bovari et Issac (2018)

Giraud, Bovari et Issac (2018) ont une approche basée sur le modèle de Godwin-Keen qui repose lui-même sur une fonction de production de type Leontief ($Y=v.K$) avec Y le PIB réel, K le stock de capital et v la productivité du capital (rapport production/capital)⁴.

Dans le modèle, les émissions mondiales de CO₂ sont la résultante des émissions industrielles liées à la production et des émissions liées à l'utilisation des terres. Cette dernière source d'émissions est exogène et diminue à un certain taux. Le niveau des émissions industrielles dépend de l'intensité actuelle des émissions de l'économie, des efforts d'atténuation captés par le taux de réduction des émissions, mais aussi du niveau de production de l'économie.

La fonction de dommage capture les impacts économiques induits par l'augmentation de la température atmosphérique moyenne. Il s'agit de résumer un large panel d'événements climatiques : la perte de biodiversité, l'acidification des océans, l'élévation du niveau de la mer, tempêtes dont la fréquence est accrue... Les fonctions de dommages conventionnelles, telles qu'introduites par Nordhaus (2016), montrent que le réchauffement climatique induit une réduction de la richesse créée et mesurée par le PIB. Cependant, Dietz et Stern (2015) et Dafermos (2017) soulignent que le réchauffement climatique peut avoir un impact négatif non seulement sur la production mais également sur les facteurs de production eux-mêmes, tels que le stock de capital. Ainsi, la fonction de dommage adoptée par Giraud, Bovari et Issac inclut à la fois les dommages sur le PIB et sur le stock de capital⁵.

Dans la mesure où le secteur productif fait face à une taxe carbone, celui-ci tâche de diminuer son impact environnemental. Un certain pourcentage de la production est détourné des ventes afin de réduire la charge de la taxe carbone, qui est calculée sur le niveau total des émissions industrielles de carbone. L'effort de réduction est endogène dans le modèle : il résulte d'un calcul des firmes qui choisit son taux de réduction des émissions en fonction de la technologie de réduction des émissions et le niveau du prix du carbone décidé par les pouvoirs publics.

Le modèle permet aux auteurs d'analyser quatre scénarii possibles. Un premier cas théorique est envisagé avec un dommage climatique absent. Ce cas sert de référence pour étudier les différences avec les autres configurations ; un second cas est analysé avec un faible impact climatique et une fonction de dommage de type Nordhaus, à travers laquelle l'économie n'est impactée qu'au niveau du PIB ; un troisième cas à la Dietz et Stern, qui considèrent un faible dommage réparti sur le stock de capital et le PIB, est envisagé ; enfin, un quatrième cas dans lequel un fort dommage climatique affecte à la fois la production et le capital, est étudié.

Le scénario qui fait abstraction des dégâts climatiques sur l'économie relève du tableau suivant : la croissance économique est nourrie par l'augmentation exogène de la productivité qui atteint en 2100 huit fois son niveau initial. L'inflation se stabilise sur des taux situés entre 2% et 2.5%. La part des salaires dans la valeur ajoutée s'établit à 60%, tandis que le ratio dette/production est de 180%, proche du niveau actuel. En l'absence supposée de dommage climatique, l'économie évolue sur une trajectoire de croissance équilibrée ; celle-ci nourrit une augmentation de l'anomalie de température de +10°C. La prise en compte de la

⁴ Dans le cadre de sa thèse, Augier (2019) a construit un modèle SFC semblable à celui de Giraud, Bovari et Isaac mais sa caractéristique originale par rapport à ce dernier est que la croissance est tirée par la demande.

⁵ Notons que les études empiriques sur les actifs échoués confirment ce constat (voir Cahen-Fourot, Campiglio, Godin, Kemp-Benedict et Trsek, 2021).

rétroaction du climat sur l'économie ne manque pas de déstabiliser la trajectoire macroéconomique.

Lorsqu'on prend en compte un impact fort du réchauffement climatique sur l'économie (scénario 4), l'économie commence par suivre sa trajectoire de croissance d'équilibre mais finit par marquer le pas à partir d'une croissance de la température située entre 3° et 4°. Le réchauffement produit une grave récession économique si bien que les dommages climatiques ne peuvent plus être compensés. Le taux d'endettement devient illimité et le taux d'emploi s'approche de zéro. Le réchauffement climatique affecte donc, comme prévu, le niveau de production, dont le taux de croissance reste systématiquement inférieur à son niveau du scénario 1 ; il accroît également l'instabilité financière puisque le taux d'endettement privé s'élève au-dessus du taux qui prévaut dans le premier scénario.

Les taux d'endettement diffèrent cependant si l'on considère un fort ou un faible dommage. Lorsque le climat affecte le stock de capital, le PIB potentiel est réduit et les firmes recourent à l'effet de levier de l'endettement pour financer les investissements productifs. Le taux d'endettement atteint 202% dans le cas d'un faible dommage climatique en 2100, et 335% dans l'hypothèse d'un dommage climatique plus important. Les auteurs montrent par ailleurs que la décroissance pourrait débiter au tournant du siècle prochain si aucune politique climatique volontariste n'est mise en œuvre.

Dans une seconde partie, l'article de Giraud, Bovari et Issaac étudie les différentes trajectoires atteignables par l'économie pour différents prix du carbone décidés par les pouvoirs publics.

Dans cette modélisation, plus la trajectoire du prix du carbone est élevée, plus le taux de réduction des émissions est rapide, car il devient plus coûteux de continuer à émettre des gaz à effet de serre. Au cours des dernières décennies, deux cibles principales ont été discutées sur la scène internationale: + 1,5 ° C et + 2 ° C. Les économistes montrent comme Nordhaus (2016) qu'en l'absence de technologie de stockage du carbone, ces objectifs sont trop ambitieux même si le dommage climatique reste faible.

Nos auteurs utilisent un prix du carbone exogène en raison de la difficulté à obtenir le bon taux d'actualisation. Une fonction paramétrique simple du prix du carbone est donc choisie. Ce profil de mise en œuvre du prix du carbone est compatible avec des contributions fondamentales telles que le GIEC ou la Commission de haut niveau sur les prix du carbone (2017).

Avec des prix du carbone très élevés à court terme, l'anomalie de température peut être limitée à + 2,07 ° C. Cependant, cette réussite sur le plan climatique est obtenue au prix d'une grave récession économique mondiale: le taux de «croissance» réel en 2100 serait proche de -5%.

Les auteurs estiment qu'avec une trajectoire du prix élevé du carbone, une redistribution de la richesse en faveur des salaires est nécessaire, de même que la promotion de l'emploi et la réduction du ratio de la dette privée à la production. Cela permettrait à l'économie mondiale de trouver plus facilement une croissance qui finira par contourner une récession malgré les dégâts engendrés par une planète plus chaude. La mise en œuvre d'une politique adéquate de réduction des émissions par le déploiement d'une taxe du carbone élevée permet de restaurer la prospérité à long terme, au moins chaque fois que la sensibilité climatique ne dépasse pas 3,1°C.

3.2.2. Le modèle SFC de Tim Jackson et Peter Victor (2019)

Le modèle de simulation stock-flux cohérent de Tim Jackson et Peter Victor est celui d'une économie nationale calibrée sur une base de données canadiennes. Cette analyse décrit l'évolution de l'économie canadienne composée de six secteurs, dans une tradition postkeynésienne. Cette modélisation permet de suivre l'évolution des émissions de carbone et la répartition des revenus au fil du temps, sous diverses hypothèses de politique économique.

L'une des originalités de l'article est de développer deux nouveaux indicateurs de performance pour suivre les progrès de l'économie: un indice de charge environnementale (EBI) pour décrire la performance environnementale du modèle; un indice composite de prospérité durable (IPS) basé sur une moyenne pondérée de sept indicateurs de performance économique, sociale et environnementale.

Les auteurs exploitent ce modèle pour simuler les effets de trois hypothèses différentes sur l'avenir de l'économie canadienne, couvrant le demi-siècle (de 2017 à 2067): un scénario de base dans lequel les tendances et les relations actuelles sont projetées dans le futur, un scénario de réduction du carbone dans lequel des mesures sont introduites spécifiquement conçu pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et un scénario de prospérité durable qui intègre des mesures supplémentaires pour améliorer les conditions environnementales, sociales et financières dans la société. Ce n'est que dans ce troisième scénario, avec son rythme de croissance économique beaucoup plus lent, que l'on constate une amélioration globale des performances comme le montre leur indicateur SPI.

Le modèle a la particularité de faire la double distinction entre investissement des firmes traditionnel et investissement vert, qui contribue à la réduction des impacts environnementaux, et entre l'investissement vert productif, qui contribue à augmenter le stock de capital à même de produire des biens et des services, et l'investissement vert non productif qui ne permet pas d'accroître la capacité de production des firmes. Cette double distinction est fondamentale puisque l'avenir de la croissance économique dépend de façon étroite de la structure de l'investissement global.

Le modèle simule différents scénarii dont l'objectif commun est d'atteindre une certaine « cible environnementale »: l'électrification des réseaux routiers et ferroviaire, la décarbonisation du secteur de l'électricité, la décarbonisation du secteur hors électricité, et l'amélioration de l'environnement qui n'a pas de lien direct avec les émissions carbonées. Comme le soulignent les auteurs en effet, le changement climatique n'est pas le seul problème environnemental préoccupant. La littérature sur les limites planétaires (Steffen (2015) identifie neuf problèmes environnementaux d'intérêt mondial (dont le changement climatique). Les impacts des activités humaines sur les habitats d'autres espèces provoquent une perte importante de la biodiversité. Pour modéliser les politiques visant à réduire les impacts environnementaux non liés au carbone, les auteurs ont inclus un modèle d'investissement vert non lié au carbone, qui traite ces autres impacts environnementaux comme une variable unique. L'hypothèse adoptée est qu'il existe une composante de l'investissement vert qui vise à constituer un stock de nouveau «capital vert». Ce capital vert fournit alors un certain niveau de services environnementaux supplémentaires à un «taux de rendement» donné. Compte-tenu de la nature très hétérogène de ce capital, des types de services qu'il fournit et de la gamme de pressions environnementales qu'il vise à atténuer, il n'existe aucune donnée sur laquelle un taux de rendement significatif peut être déterminé. Ils font alors l'hypothèse d'un taux de rendement par défaut des services environnementaux sur le nouveau capital vert de 5%. Ces services environnementaux sont ensuite comptabilisés comme un avantage dans leurs indicateurs de performance.

Le modèle rejoint les conclusions de Giraud, Bovari et Issac et montre que si les tendances actuelles perdurent, il est possible que la croissance économique se poursuive mais au prix d'une forte dégradation du climat et de l'environnement qui débouchera sur une crise grave. Cependant, des réductions importantes des émissions carbonees sont possibles si des politiques environnementales appropriées sont mises en œuvre pour modifier la structure de l'économie et de la société. Les conséquences de ces transformations sur la santé économique du pays dépendent de nombreux facteurs parmi lesquels on compte la rapidité de la transition et le niveau de productivité des investissements verts. Si la transition est lente, le modèle montre que la croissance économique peut être fortement impactée négativement. Une transition à la fois plus forte et plus rapide fait tomber la croissance à zéro. Néanmoins, ce résultat de croissance nulle est assorti d'une amélioration de la qualité de vie, en raison d'une réduction des inégalités économiques et d'une amélioration de la qualité de l'environnement. Ce n'est que dans ce troisième scénario d'une transition forte et rapide que l'on peut anticiper une amélioration des performances sociales et environnementales. Même les indicateurs financiers restent relativement stables dans une telle configuration.

3.2.3. Le modèle SFC de Dafermos, Nikolaidi et Galanis (2017)

Le modèle de Dafermos et alii présente l'originalité de combiner l'approche stock-flux cohérente de Godley et Lavoie avec le modèle de fonds-flux de Georgescu-Roegen. Le modèle présente les principales caractéristiques suivantes.

Premièrement, les stocks et flux monétaires et physiques sont explicitement formalisés en tenant compte des principes comptables et des lois de la thermodynamique. En outre, la production est déterminée par la demande, mais des contraintes d'approvisionnement peuvent survenir soit en raison de dommages environnementaux, soit en raison de l'épuisement des ressources naturelles. Par ailleurs, le changement climatique influence directement les composantes de la demande globale. Enfin, la finance affecte l'activité macroéconomique et la matérialisation des plans d'investissement qui déterminent l'efficacité écologique.

Le modèle de Georgescu-Roegen résume les propositions fondamentales de l'économie écologique. Son modèle s'appuie explicitement sur la première et la deuxième loi de la thermodynamique.

La première loi est celle de la conservation de l'énergie. Au cours d'une transformation, l'énergie n'est ni créée ni détruite : elle peut être convertie d'une forme en une autre mais la quantité totale d'énergie reste invariable. Ainsi, les apports totaux de matière dans le système socio-économique sur une année doivent être égaux à la production totale de matière au cours de la même année.

La deuxième loi de la thermodynamique est capturée par le fait que les processus économiques transforment l'énergie à faible entropie (par exemple les combustibles fossiles) en énergie dissipée à haute entropie (par exemple l'énergie thermique).

La première loi de la thermodynamique permet aux auteurs de prendre en compte les émissions nocives de la transformation de l'énergie et de la matière (émissions de CO₂ et déchets de matières dangereuses). Ces sous-produits provoquent la dégradation de l'environnement avec des effets de rétroaction sur l'économie. La deuxième loi de la thermodynamique implique qu'à très long terme, les processus économiques ne peuvent pas compter sur l'énergie produite à partir de combustibles fossiles. En effet, les ressources en combustibles fossiles sont limitées ; les processus économiques transforment l'énergie à faible

entropie en énergie à haute entropie. Par conséquent, une perspective de développement durable implique que les processus économiques dépendent d'énergies renouvelables.

La concentration de CO₂ dans l'atmosphère est modélisée à l'aide de plusieurs équations qui décrivent comment les émissions de CO₂ sont liées aux activités économiques et au cycle naturel du carbone.

Le modèle étant présenté, les auteurs dressent la typologie des canaux par lesquels les écosystèmes interagissent avec la sphère économique.

- a- Le canal de dégradation : la croissance économique entraîne l'utilisation de matières et d'énergies non renouvelables et conduit à des émissions de CO₂ et à la production de déchets dangereux. Il en résulte une dégradation des services écosystémiques due à l'augmentation de la température atmosphérique induite par le CO₂ et aux déchets.
- b- Le canal d'épuisement : la croissance économique tend à épuiser les ressources naturelles limitées en raison d'un processus de production exploitant des ressources non-renouvelables.
- c- Le canal de dommages : la dégradation des services écosystémiques endommage les facteurs de production soit en les détruisant directement, soit en réduisant leur productivité. Ces dommages imposent ainsi des contraintes du côté de l'offre. Les dommages environnementaux affectent également le comportement des ménages et des entreprises, qui réagissent à ces dommages en réduisant respectivement les dépenses de consommation et d'investissement. En conséquence, la demande globale diminue, ce qui réduit la croissance économique.
- d- Le canal de contrainte des ressources naturelles : l'épuisement des ressources naturelles réduit la disponibilité des ressources nécessaires au processus de production (matières et énergies non renouvelables). Cela implique des contraintes du côté de l'offre.
- e- Le canal du financement vert : le système financier finance les investissements verts par le biais de prêts, contribuant à l'amélioration de la qualité environnementale du processus de production. Ainsi, le rationnement du crédit et les taux d'intérêt déterminés par les banques peut éventuellement induire un certain découplage entre la croissance économique et des problèmes environnementaux.
- f- Le canal de la croissance : le système financier peut avoir des effets positifs et négatifs sur l'activité économique. Les effets positifs incluent la fourniture de financements qui augmentent l'investissement. Les effets négatifs sont liés à l'augmentation potentielle du ratio de levier des entreprises qui, sous certaines conditions, peut nuire à l'activité économique en réduisant les crédits accordés.
- g- Le canal de l'instabilité financière : la stabilité du système financier est affectée par l'activité macroéconomique qui elle-même dépend de la stabilité climatique et de la qualité environnementale. Une croissance économique élevée est propice à l'expansion du système financier, qui peut être associée à une plus grande fragilité financière (ratios de levier plus élevés). La faible activité économique crée des difficultés de remboursement de la dette qui affectent la stabilité du système financier.

Le modèle permet de simuler l'avenir de la croissance économique et de l'environnement sur 100 ans en prolongeant les tendances actuelles aussi bien sur le plan environnemental que sur le plan économique : l'économie mondiale continue de se développer de manière assez fluide et l'efficacité écologique s'améliore modérément.

Dans le scénario étudié par les auteurs, l'économie mondiale croît autour de 2,7 à 3% et le taux de chômage reste égal à 6% jusqu'en 2050. La population active croît à un rythme décroissant au cours des prochaines années, passant de 3,4 milliards de personnes en 2015 à environ 4,5 milliards de personnes en 2050. Ils anticipent une part des énergies renouvelables passant à 30% à la fin du siècle contre environ 14% aujourd'hui ; l'intensité CO₂, devrait atteindre environ 10% de moins en 2050 par rapport à leurs niveaux actuels. Pour finir sur les hypothèses de ce scénario, le taux de recyclage est supposé augmenter d'environ 40% jusqu'en 2050.

Dans ce scénario, la production augmente de façon exponentielle pendant environ 60 ans. Étant donné que la part des énergies renouvelables dans l'énergie totale reste faible, la croissance économique génère une augmentation presque continue des émissions de CO₂ jusqu'à la fin du 21^e siècle. L'augmentation de la concentration de CO₂ conduit à un grave réchauffement climatique : en 2100, la température atmosphérique devient 4°C supérieure aux niveaux préindustriels. L'augmentation de la température atmosphérique rend progressivement le canal de dégâts plus fort. Ainsi, le taux de croissance de la production diminue, devenant très proche de 0% au début du 22^e siècle. Il en résulte une croissance continue du taux de chômage.

La faible activité économique, combinée à la destruction du capital due au changement climatique, génère une augmentation du ratio de levier des entreprises. La hausse du ratio de levier renforce les effets récessifs provoqués par le réchauffement climatique (canal de croissance) car il réduit l'investissement souhaité et augmente le rationnement du crédit. La faible croissance économique finit par réduire les émissions de CO₂. Ironiquement disent les auteurs, cette amélioration de la qualité environnementale est principalement produite par la nature qui a forcé l'économie à ralentir.

Les trois modèles SFC qui viennent d'être présentés obtiennent des projections relativement similaires. Si la tendance actuelle se prolonge, au niveau mondial ou à l'échelle plus restreinte d'un pays comme le Canada, une double crise climatique et économique est inévitable. Les modèles postkeynésiens obtiennent donc des résultats qui sont fort éloignés de ceux des modèles néoclassiques.

3.3. Une analyse de l'impact macroéconomique de l'augmentation du prix des ressources naturelles: le modèle de Berg, Hartley et Richters (2015)

L'épuisement des ressources naturelles pose la question des effets de l'augmentation de leur prix sur l'économie. Le modèle SFC de Berg, Hartley et Richters permet d'analyser dans un cadre postkeynésien les effets macroéconomiques d'une hausse des prix de l'énergie.

Certains économistes soutiennent la thèse selon laquelle depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale, les récessions aux Etats-Unis sont systématiquement accompagnées d'une hausse du prix de l'énergie. Cette hypothèse est-elle valide ?⁶

Dans le modèle présenté, l'augmentation de la marge dans le secteur de l'énergie entraîne une hausse du prix de l'énergie. Cela fait immédiatement baisser la consommation d'autres biens, ce qui fait baisser le salaire au cours de la période suivante et les ventes attendues du secteur productif hors énergie, entraînant une réduction des investissements.

⁶ Notons que Fizaine et Court (2016) ont également étudié cette question.

La hausse du prix de l'énergie augmente les coûts unitaires et donc fait aussi monter les prix dans le secteur de la production hors énergie. Ensemble, cela entraîne une baisse importante de la demande finale.

Cependant, la production augmente à nouveau une fois que les stocks sont réduits, et après que les bénéfices croissants du secteur de l'énergie aient été distribués aux ménages. Ces derniers augmentent alors leur consommation. Il convient de souligner que les dépenses publiques ont été maintenues constantes en termes nominaux par les auteurs. Une augmentation des dépenses publiques due à des prix plus élevés pourrait potentiellement compenser la baisse de la demande.

Donc, suivant cette interprétation, ce n'est pas la baisse de l'offre de pétrole mais la baisse des dépenses qui a déclenché la récession. L'augmentation drastique des prix de l'énergie avant 2008 peut avoir contribué à la crise financière de 2007-2008, car une croissance réduite ou une croissance attendue plus faible peut déstabiliser l'économie et le système financier.

4. Politique économique, politique environnementale et conjoncture : les modèles de la synthèse néoclassico-keynésienne deviennent également « verts »

Les modèles de la première synthèse néoclassique ont aussi intégré la prise en compte de l'environnement. Ils apportent également, à une échelle plus modeste, leurs propres enseignements.

Le modèle IS-LM-EE de Heyes construit en 2000 met en évidence un enseignement tout à fait similaire au modèle de croissance kaleckien de Fontana et Sawyer : la prise en compte de l'environnement n'est pas le fait d'un ajustement spontané des marchés, mais d'une action volontariste de l'Etat. Le modèle offre/demande globales de Fayard et Germain (2014), beaucoup plus récent, cherche à évaluer l'effet d'une politique climatique publique sur la conjoncture. Il en va de même pour le modèle de Piluso et Le Heron (2017), beaucoup plus keynésien, qui nuance fortement les conclusions de Fayard et Germain.

4.1 Le modèle IS-LM-EE⁷ de Heyes (2000)

Anthony Heyes construit en 2000 un modèle IS-LM enrichi d'une contrainte environnementale pour analyser les conséquences d'une telle contrainte sur la conduite de la politique économique.

Rappelons que le modèle IS-LM des manuels de macroéconomie est un schéma de détermination simultanée du PIB et du taux d'intérêt (dans un environnement où le prix des biens est fixe à court terme), grâce à la confrontation de deux courbes : la courbe IS représentative de l'équilibre sur le marché des biens, et la courbe LM représentative de l'équilibre sur le marché de la monnaie. La courbe IS est l'ensemble des combinaisons de PIB (Y) et de taux d'intérêt (R) qui assurent l'équilibre du marché des biens. La relation entre les deux variables est inverse : quand le taux d'intérêt baisse, l'investissement des entreprises augmente, entraînant un surplus de demande sur le marché des biens. Le PIB (soit la production offerte) doit augmenter pour équilibrer le marché. La relation entre Y et R est donc décroissante.

La courbe LM est l'ensemble des combinaisons de PIB et de taux d'intérêt qui assurent l'équilibre sur le marché de la monnaie. Si le PIB augmente, la demande de monnaie pour

⁷ EE signifie « équilibre écologique »

motif de transaction augmente, si bien que le taux d'intérêt doit augmenter pour faire baisser la demande de monnaie à des fins spéculatives et ainsi équilibrer le marché de la monnaie. La courbe LM est donc croissante dans le plan (Y, R) .

Appelons e l'intensité polluante de l'activité économique. Cette variable indique quelle quantité d'émissions polluantes engendre la production d'une unité de bien. Cette intensité polluante dépend de deux facteurs différents : le taux d'intérêt R et un paramètre institutionnel μ qui synthétise l'état de développement de la régulation environnementale dans l'économie. On peut considérer que μ représente la fraction des dégâts environnementaux pour laquelle les firmes doivent payer un prix.

L'intensité polluante e est une fonction croissante du taux d'intérêt : plus ce dernier est élevé, plus il est difficile pour les firmes d'investir dans la transition écologique, et donc de réaliser des investissements verts, le coût de l'emprunt étant croissant. Elle est aussi une fonction décroissante de μ : plus le secteur des entreprises doit payer pour la pollution qu'elles occasionnent, plus elles auront tendance à adopter des techniques de production respectueuses de l'environnement.

En conséquence, l'empreinte écologique totale de l'économie se calcule en réalisant le produit $e \cdot Y$, Y représentant l'output (le niveau de production). Heyes note E le stock physique une variable composite appelée « environnement », qui se renouvelle naturellement au taux s . E constitue une mesure de la qualité environnementale de l'économie. L'équilibre environnemental est assuré lorsque :

$$e(R, \mu) \cdot Y = s \cdot E \quad (1)$$

Cette égalité signifie que la somme des prélèvements qu'effectue l'économie sur l'environnement est égale à la somme des ressources nouvelles générées naturellement par l'environnement.

Spécifions les fonctions et supposons que la fonction d'intensité environnementale de la production est de type :

$$e(R, \mu) \cdot Y = \beta R Y - \mu Y \quad (2)$$

Nous pouvons alors réécrire l'équation d'équilibre environnemental :

$$\beta R Y - \mu Y = s \cdot E \quad \text{d'où} \quad Y (\beta R - \mu) = s \cdot E \quad \text{d'où} \\ Y = s \cdot E / (\beta R - \mu) \quad (3)$$

La dernière expression (3) montre que la courbe d'équilibre environnemental décrit une relation décroissante entre l'output Y et le taux d'intérêt R . En effet, plus les firmes produisent, plus elles émettent des rejets polluants et consomment des ressources naturelles. Par conséquent, pour assurer l'équilibre environnemental, le taux d'intérêt doit diminuer pour permettre aux firmes d'investir plus facilement dans des technologies vertes qui autorisent d'économiser des ressources naturelles et de polluer dans une moindre mesure.

Il est à présent possible d'étudier les effets des politiques macroéconomiques en tenant compte de cette nouvelle contrainte environnementale.

Supposons que le gouvernement souhaite combattre le chômage en mettant en place une politique budgétaire de relance basée sur une augmentation des dépenses publiques.

La politique budgétaire de relance se traduit graphiquement par un déplacement vers la droite de la courbe IS. Cela signifie concrètement que pour un même taux d'intérêt, le PIB qui équilibre le marché des biens est plus élevé. Effectivement, l'économie chemine vers un nouveau point d'intersection entre IS et LM. Le taux d'intérêt a augmenté du fait d'une augmentation de la demande de monnaie. Le PIB a augmenté également grâce à l'effet multiplicateur des dépenses publiques. Cependant, ce point ne correspond pas à un équilibre environnemental. L'augmentation du PIB a en effet généré des pollutions supplémentaires qui ne sont pas compensées par des investissements verts (hausse du taux d'intérêt). Pour prendre en compte la contrainte environnementale, le gouvernement doit accompagner la relance budgétaire d'une politique monétaire restrictive de baisse de l'offre de monnaie pour réduire suffisamment le PIB et donc les dégâts environnementaux.

La restriction monétaire conduit l'équilibre de l'économie vers un troisième point qui correspond à un PIB plus faible que le PIB initial (le taux d'intérêt étant accru par la politique monétaire restrictive). Par conséquent, il n'est plus concevable de mener une politique de lutte contre le chômage tout en tenant compte des contraintes environnementales.

Bien sûr, ce raisonnement est mené en retenant la clause « toutes choses étant égales par ailleurs ». Il serait possible de mener une politique budgétaire de relance compatible avec l'équilibre environnemental à la condition de déplacer la courbe EE elle-même, c'est-à-dire augmenter le paramètre μ représentant la taxation des entreprises sur les émissions polluantes.

La conclusion provisoire est donc la suivante : il est impossible de mener une politique budgétaire de relance efficace si l'on tient compte de la contrainte environnementale, à moins d'augmenter la fiscalité écologique ou d'instaurer de nouvelles contraintes réglementaires en matière d'écologie.

Etudions à présent la politique monétaire.

La relance monétaire consiste dans le schéma IS-LM à augmenter l'offre de monnaie pour faire baisser le taux d'intérêt sur le marché de la monnaie et donc augmenter l'investissement privé qui a des effets multiplicateurs sur le PIB. La courbe LM se déplace vers la droite. L'économie glisse vers un nouveau point d'équilibre, avec un taux d'intérêt plus faible et un PIB plus élevé par rapport à la situation initiale. Cependant, cette position de l'économie est en dehors de l'équilibre environnemental. L'augmentation du PIB a engendré un excès d'émissions polluantes. Par conséquent, la politique monétaire de relance doit être accompagnée d'une restriction budgétaire (baisse des dépenses publiques) pour faire diminuer le PIB. Une telle restriction budgétaire conduit l'économie avec une position compatible avec l'équilibre environnemental. Cette position correspond à un PIB d'équilibre plus élevé et un taux d'intérêt plus faible par rapport à la situation initiale. Il est donc possible de mener une politique monétaire efficace tout en tenant compte de la contrainte écologique. Cette dernière doit, pour ce faire, être accompagnée d'une politique budgétaire restrictive. En fait, avec les pentes des courbes IS, LM et EE définies par Heyes, il s'avère que l'effet expansionniste (sur le PIB) de la politique monétaire est plus important que l'effet récessif de la politique budgétaire de rigueur.

4.2 Le modèle AS-AD de Fagnard et Germain (2014)

Le modèle Offre-Demande Globales est traditionnellement considéré comme un modèle IS-LM auquel on a ajouté un « bloc offre » : on tient compte désormais du fait que les firmes cherchent à maximiser leur profit dans le processus de détermination du PIB d'équilibre.

La courbe de demande globale DG résulte de l'impact d'une variation du niveau du prix des biens sur l'équilibre IS-LM : lorsque le prix augmente, l'offre réelle de monnaie diminue, le taux d'intérêt augmente, ce qui fait diminuer l'investissement et le PIB. Par conséquent, on trace une courbe décroissante reliant le niveau des prix P au PIB noté Y .

La courbe d'offre résulte simplement du processus de maximisation du profit des firmes lorsqu'elles déterminent leur niveau d'emploi. La théorie néoclassique traditionnelle montre que ce profit est maximisé lorsque la productivité marginale du travail est égale au salaire réel. Lorsque le niveau des prix augmente, le pouvoir d'achat du salaire monétaire (autrement dit le salaire réel) diminue, et par conséquent le niveau d'emploi retenu par les entreprises et leur niveau de production augmente. Si le salaire monétaire est rigide à court terme, alors il existe une relation croissante entre l'offre des entreprises (le niveau de production Y) et le niveau des prix : quand les prix augmentent, le salaire réel diminue et donc l'offre de bien augmente.

Au final, l'équilibre macroéconomique est déterminé au point d'intersection des courbes d'offre globale OG et de demande globale DG : le niveau des prix P et le PIB sont ainsi déterminés.

Les économistes Fagnard et Germain introduisent dans une publication de 2014 des éléments de politique climatique à l'intérieur du modèle OG-DG : taxe carbone affectant les entreprises, ou marché de droits à polluer. On s'attardera uniquement sur le cas de la taxe carbone.

Les auteurs introduisent une évaluation de l'empreinte carbone de l'économie. L'activité productive s'accompagne d'une émission de gaz à effet de serre (GES). On notera Z l'estimation faite par les pouvoirs publics du volume de GES qui dépend de l'intensité polluante et du niveau de PIB. C'est sur cette variable Z que repose la taxation écologique.

En amont de sa décision de production, la firme représentative choisit la quantité d'émissions polluantes à éviter étant donné le niveau de la taxe carbone T . On suppose que pour éviter une quantité A d'émission de GES, la firme doit acheter une quantité de biens anti-pollution selon la fonction $g(A)$ (on suppose que $g(A)=A^\delta$). Le prix unitaire anticipé du bien est noté P_A .

Le choix optimal de dépollution est donné par l'égalité entre le coût marginal de dépollution $P_A \cdot g'(A)$ et le gain marginal à le consentir mesuré par T . On obtient donc la fonction de dépollution qui associe à chaque niveau de taxe carbone T le volume de dépollution optimal pour la firme :

$$\left[\frac{T}{\partial P_A} \right]^{\frac{1}{\delta-1}}$$

En intégrant le prix des émissions carbone dont s'accompagne la production dans le programme de maximisation du profit de la firme, on obtient une courbe d'offre globale qui dépend de la sévérité de la politique climatique, c'est-à-dire du prix du carbone imposé par le gouvernement.

On peut raisonner à prix constant et affirmer que lorsque la politique climatique est plus exigeante, la production est plus faible pour un même niveau de prix. Le durcissement de la politique climatique constitue donc un choc d'offre négatif (augmentation des coûts de production). La demande globale comprend quant à elle les composantes suivantes : la consommation des ménages, l'investissement des entreprises, les dépenses gouvernementales,

et enfin les dépenses anti-pollution $g(A)$ mises en œuvre par les firmes sous l'impulsion de la taxe carbone.

Toute augmentation de la taxe carbone a un effet positif sur la demande globale car elle booste les dépenses anti-pollution des firmes.

Le modèle étant sommairement présenté, il est possible d'analyser l'impact à court terme d'une augmentation de la taxe carbone.

Supposons donc que le gouvernement met en place une politique climatique plus exigeante en augmentant la taxe sur les émissions de CO₂. L'augmentation de la taxe carbone constitue donc un choc d'offre négatif et un choc de demande positif. Son impact macroéconomique sur le PIB est donc *a priori* indéterminé, même s'il est acquis que dans le modèle, le relèvement de la taxe est inflationniste (plus de demande et moins d'offre). Il est cependant possible de préciser que l'effet expansionniste de la taxe carbone sera d'autant moins fort que :

- les dépenses de dépollution des entreprises sont peu sensibles à la hausse de la taxe ;
- la demande globale est très sensible à l'augmentation du niveau général des prix (une augmentation des prix, consécutive à l'augmentation de la taxe, fait beaucoup baisser la demande) ;
- la rigidité du salaire monétaire est faible : plus le salaire monétaire s'adapte aux variations de prix, moins l'offre des entreprises est flexible et réagit aux impulsions de la demande (l'offre des entreprises réagissant uniquement aux variations du salaire réel, rapport entre le salaire nominal et le niveau des prix).

Le modèle permet d'affirmer comme annoncé qu'une politique de relance par la demande (politique budgétaire ou politique monétaire expansionnistes) est moins efficace en présence d'une taxe carbone car la courbe d'offre est plus à gauche dans le plan. Par conséquent, l'introduction d'une taxe carbone diminue la valeur du multiplicateur des dépenses publiques et accroît leur effet inflationniste : face à un choc de demande, l'ajustement se réalise essentiellement par les prix en lieu et place d'un ajustement par les quantités (augmentation de l'offre).

4.3. Un modèle macroéconomique statique et keynésien avec taxe carbone de Piluso et Le Heron (2017)

L'originalité du modèle de Piluso et Le Heron est qu'il tente d'intégrer le mieux possible les enseignements de Keynes de la *Théorie Générale*. D'une part, il contient l'hypothèse d'asymétrie entre entrepreneurs et salariés, en vertu de laquelle les premiers déterminent unilatéralement le niveau d'emploi. Cette hypothèse est étroitement liée au principe de la demande effective, qui établit que la production et l'emploi sont déterminés par la demande anticipée adressée aux firmes. D'autre part, il reprend l'idée de Keynes selon laquelle ce n'est pas le salaire réel qui détermine le volume d'emploi (comme dans le modèle OG-DG), mais l'inverse : le volume d'emploi étant déterminé, le salaire réel est déterminé puisque la productivité marginale du travail doit être égale au salaire réel pour que la maximisation du profit soit vérifiée. Si le salaire monétaire est connu, alors la détermination des niveaux de production et d'emploi permet de déterminer le niveau général des prix. Nous sommes donc bien dans un modèle où les prix sont flexibles, contrairement au modèle IS-LM des manuels de macroéconomie.

La logique du modèle est la suivante :

Fixation du taux d'intérêt et de la taxe carbone → détermination de l'investissement total → détermination de la production sur le marché des biens → détermination du niveau d'emploi → détermination du salaire réel (la productivité marginale du volume d'emploi étant connue) → détermination du niveau général des prix (le salaire monétaire étant connu)

Le modèle intègre une double taxe carbone : une taxe carbone payée par les entreprises, et une taxe carbone payée par les ménages.

Le volume de l'investissement total est noté I_t . Comme dans la plupart des articles ayant trait à la modélisation écologique, les auteurs différencient l'investissement « vert » I_v , qui permet l'acquisition de biens de production moins polluants, et l'investissement « classique » I_c , qui vise uniquement à l'accroissement des capacités de production et/ou l'amélioration de la productivité sans aucun égard à l'environnement.

Dans la mesure où la taxe carbone que l'on note T donne le gain marginal à dépolluer, elle est susceptible de stimuler l'investissement pour acquérir du capital moins polluant. L'hypothèse qui est retenue est que la relation entre investissement et taxe carbone est non linéaire, de forme concave et où le maximum correspond au seuil d'émissions « frictionnelles » impossibles à éliminer totalement. À partir de ce maximum, une taxe carbone supérieure aurait alors un effet négatif sur l'investissement ($I'_t < 0$ à partir de ce point). L'investissement vert est également une fonction décroissante du taux d'intérêt.

La fonction d'investissement « classique » est quant à elle une fonction décroissante du taux d'intérêt.

Dans le modèle, l'activité productive s'accompagne d'une émission de gaz à effet de serre (GES). On notera Z l'estimation faite par les pouvoirs publics du volume de GES. L'intensité polluante de la technologie est une fonction décroissante de l'investissement vert. La fonction de consommation quant à elle dépend de la richesse distribuée, mais aussi de la taxe carbone appliquée à l'intensité polluante de la quantité de biens achetés. L'originalité de cette fonction est qu'elle intègre une taxe carbone dont le montant dépend de la quantité de biens consommée et de l'intensité polluante liée à la consommation de ces biens.

Dans le modèle OG-DG de Fagnard et Germain, l'augmentation de la taxe carbone produit un choc d'offre négatif et ses effets sur le PIB sont incertains. Piluso et Le Heron arrivent à une conclusion sensiblement différente dans le cadre de ce modèle keynésien.

En effet, il apparaît dans ce modèle que la taxe carbone a pour effet d'augmenter la valeur du multiplicateur dans la mesure où toute recette fiscale provenant de la taxe carbone est recyclée en supplément de dépense publique. Par ailleurs, l'introduction de la taxe permet de faire apparaître une dépense antipollution I_v , qui a pour effet d'augmenter la demande agrégée. En somme, la taxe carbone ne peut avoir un impact négatif sur la conjoncture que si cette dernière atteint un niveau tel que son impact sur l'investissement est négatif.

Contrairement à ce que prévoient les modèles macroéconomiques cités précédemment, la mise en œuvre d'une politique climatique peut augmenter les volumes de la production et de l'emploi :

- dès lors qu'est prise en compte l'apparition de dépenses supplémentaires liées à l'effort de dépollution et au développement des dépenses publiques ;
- lorsque le niveau de la taxe carbone demeure à un niveau « efficace » (en dessous d'un certain seuil) pour diminuer les émissions polluantes.

Notons que dans un second article, Piluso (2019) montre dans le cadre d'un modèle de croissance instable dans la lignée d'Harrod/Domar que la taxe carbone se révèle être un outil offrant un triple dividende : un dividende écologique (diminution de l'empreinte carbone) et un double dividende économique (augmentation de l'emploi et stabilisation de la croissance).

Conclusion

Cet article a tenté de synthétiser les enseignements des modèles macroéconomiques keynésiens au sens large qui intègrent une dimension environnementale.

Le modèle IS-LM-EE de Hayes comme celui de Fontana et Sawyer montrent que lorsque l'économie dévie de sa position compatible avec un certain équilibre environnemental, l'intervention de l'État est nécessaire pour rendre compatibles le fonctionnement de l'économie et le respect des contraintes écologiques.

Si le modèle de Naqvi met en évidence une possibilité de découplage entre croissance économique et dégradation de l'environnement grâce au progrès technique, les autres approches alertent sur l'impératif d'une politique climatique radicale (prix du carbone très élevé, transformations en profondeur des structures de l'économie et de la société avec une décarbonisation de pans entiers de l'économie) pour s'éloigner d'un mode de croissance insoutenable. Ces modèles confirment d'ailleurs que si rien n'est fait, nos sociétés connaîtront une crise économique et une crise écologique sans précédent⁸.

Cet article montre, si besoin en était, que les économistes keynésiens et post-keynésiens apportent une contribution importante au débat sur l'avenir de la croissance et de nos écosystèmes.

Bibliographie

Augier S., [2019], *Demand-Led Dynamic Stock-Flow-Consistent Monetary Macroeconomic Model of Global Warming*, Master Thesis, Université Paris 8.

Berg M., B. Hartley et O. Richters, [2015], « A stock-flow consistent input–output model with applications to energy price shocks, interest rates, and heat emissions », *New Journal of Physics*, 17(1), issue 1.

Berr A., V. Monvoisin et J.-F. Ponsot, [2018], *L'économie post-keynésienne*, Paris, Éditions du Seuil.

Cahen-Fourot L., E. Campiglio, A. Godin, E. Kemp-Benedict, S. Trsek, [2021], « Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilisation », *AFD Research Papers*, vol. 204.

Cahen-Fourot L., M. Lavoie, [2016], « Ecological monetary economics: A post-Keynesian critique », *Ecological Economics*, vol. 126, p. 163–68.

⁸ D'autres articles émanant des économistes post-keynésiens étudient par exemple les relations entre création monétaire, croissance et soutenabilité, par exemple Cahen-Fourot et Lavoie (2016) ou encore Jackson et Victor (2015).

Dafermos Y., M. Nikolaidi et G. Galanis, [2017], « A stock-flow-fund ecological macroeconomic model », *Ecological Economics*, 131, p. 191–207.

Dietz S., N. Stern, [2015], « Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions », *Economic Journal*, Royal Economic Society, vol. 125(583), March, p. 574-620.

Fagnard J-F., M. Germain, [2014], « Macroéconomie du court terme et politique climatique : quelques leçons d'un modèle d'offre et demande globales », *Recherches économiques de Louvain*, 1 (Vol. 80), p. 31-60.

Fizaine F., V. Court, [2016], « Energy expenditure, economic growth, and the minimum EROI of society », *Energy Policy*, vol. 95, p. 172–86.

Fontana G., M. Sawyer, [2013], « Postkeynesian and kaleckian thoughts on ecological macroeconomics », *European Journal of Economics and Economic Policy: intervention* (10-2), p. 256-267.

Fontana G., M. Sawyer, [2016], « Towards post-Keynesian ecological macroeconomics », *Ecological Economics*, vol 121, p. 186-195.

Giraud G., F. Isaac, E. Bovari, E. Zatssepina, [2018], « Coping with le Collapse: A Stock-Flow Consistent Monetary Macrodynamics of global warming », *Ecological Economics*, 147, May, p. 383-398.

Godley W., M. Lavoie, [2007], *Monetary Economics*, Palgrave Macmillan.

Heyes A., [2000], « A Proposal for the Greening of Textbook Macro: IS-LM-EE », in: *Ecological Economics*, 32, p. 1-7.

Jackson T., [2009], *Prosperity without growth? The transition to a sustainable economy*, London: Sustainable Development Commission.

Jackson T., P. Victor, [2019], « Low Grow SFC: A stock-flow consistent ecological macroeconomic model for Canada », *CUSP Working Paper* No 16. Guildford: University of Surrey.

Jackson T., P. Victor, [2015], « Does credit create a 'growth imperative'? A quasi-stationary economy with interest-bearing debt », *Ecological Economics*, vol. 120, p. 32–48.

Keen S., [2020], « The appallingly bad neoclassical economics of climate change », *Globalizations*, DOI : [10.1080/14747731.2020.1807856](https://doi.org/10.1080/14747731.2020.1807856)

Keynes J.M., [1936], *The General Theory of Employment, Interest, and Money*, Cambridge University Press.

Naqvi A., [2015], « Modeling Growth, Distribution, and the Environment in a Stock-Flow Consistent Framework », Policy Paper n°18, WWW For Europe.

Nordhaus W.D, [2016], « Projections and uncertainties about climate change in an era of minimal climate policies », *Cowles Foundation Discussion Papers* 2057, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.

Nordhaus W.D, [1993], « Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the 'dice' model », *American Economic Review*, 83 (2), p. 313–317.

Piluso N., E. Le Heron, [2017], « La taxe carbone dans une économie d'inspiration keynésienne », *Développement durable et territoires*, vol 8, n°3, décembre.

Piluso N., C. Rau, [2019], « Taxe carbone et stabilité de l'économie : pour un élargissement de la problématique du double dividende de la taxation écologique », *Revue d'Economie Théorique et Appliquée*, Volume 9, Numéro 1, juin 2019, p 1-18.

Stanton E.A, A. Ackerman, S. Kartha, [2009], « Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics », *Climate Development*, 1(2), July, p.166–184.

Steffen W, [2015], « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet », *Science*, Vol. 347, no. 6223, p. 125-151.

Rezai A., L. Taylor, R. Mechler, [2012], « Ecological Macroeconomics: An application to climate change », SRE - Discussion Papers, juin.

Taylor L., A. Rezai and D. Foley, [2016], « An integrated approach to climate change, income distribution, employment, and economic growth », *Ecological Economics*, vol. 121, p. 196-205.

Victor P., [2008], *Managing Without Growth: Slower by Design, Not Disaster*, Cheltenham: Edward Elgar.

Wouillez M.-N., G. Giraud, et A. Godin, [2020], « Economic impacts of a glacial period: a thought experiment to assess the disconnect between econometrics and climate sciences », *Earth System Dynamics*, vol. 11, n°4, p. 1073–87.