

# MACROÉCONOMIE ET ENVIRONNEMENT

**Katheline Schubert**<sup>1</sup>

*Paris School of Economics, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne*

---

Cet article examine la littérature « macroéconomie et environnement » récente, sous l'angle des approches méthodologiques, des questions posées et des types de réponses apportées. Il fait également le point sur la place de l'environnement dans les manuels et les grandes revues de macroéconomie. Il montre que la place accordée aux questions environnementales dans la macroéconomie de court terme est quasi-nulle. Ces dernières sont considérées comme touchant au long terme, à la structure des économies plutôt qu'à la conjoncture. On pourrait dès lors s'attendre à ce que les travaux sur la croissance et l'enseignement des théories de la croissance leur fassent une place importante. L'article montre que c'est partiellement le cas en ce qui concerne la littérature, mais pas du tout en ce qui concerne l'enseignement. Le chemin à parcourir pour réellement intégrer les questions environnementales dans la macroéconomie reste long.

*Mots clés* : macroéconomie, environnement, modélisation, croissance.

---

**H**erman Daly, l'un des pères de l'économie écologique, écrivait en 1991 : « *Environmental economics, as it is taught in universities and practiced in government agencies and development banks, is overwhelmingly microeconomics. The theoretical focus is on prices, and the big issue is how to internalize external environmental costs so as to arrive at prices that reflect full social marginal opportunity costs. Once prices are right the environmental problem is 'solved' – there is no macroeconomic dimension.* » (Daly, 1991). Ce constat est toujours

---

1. Je remercie Mouez Fodha, François Langot et Aude Pommeret pour leur relecture éclairée.

partiellement valide : les questions environnementales occupent une très faible place dans les modèles macroéconomiques, leur étude restant largement l'apanage de la microéconomie et de l'économie publique. On peut même dire que les macroéconomistes du court terme ne s'y intéressent pas, ou plus précisément que leur intérêt éventuel est confiné à la question de l'impact macroéconomique des chocs pétroliers. Il en va différemment des macroéconomistes de la croissance. En effet, les problèmes environnementaux sont perçus comme des problèmes de long terme, touchant à la structure de l'économie et influençant son sentier de croissance, mais n'ayant que peu de rapport avec ses performances conjoncturelles. Cependant, même dans les modèles de croissance, les questions environnementales restent la plupart du temps externes, au sens où elles n'affectent pas les moteurs de la croissance que sont l'éducation, les infrastructures publiques, la technologie, les institutions. Elles sont perçues comme des contraintes, plutôt que comme une dimension essentielle de nos choix de développement.

Cet article examine la littérature « macroéconomie et environnement » récente, sous l'angle des approches méthodologiques, des questions posées et des types de réponses apportées. Il fait également le point sur la place de l'environnement dans les manuels et les grandes revues de macroéconomie. Il montre que le chemin à parcourir pour réellement intégrer les questions environnementales dans la macroéconomie reste long.

## 1. Macroéconomie de court terme et environnement

Un examen attentif de la littérature et l'étude je l'espère exhaustive des manuels de macroéconomie du court terme les plus utilisés et des grandes revues de macroéconomie montrent sans ambiguïté que la place réservée aux questions environnementales y est quasi-nulle.

### 1.1. La littérature

On relève dans la littérature macroéconomique d'avant la crise de nombreux travaux sur les effets macroéconomiques des chocs pétroliers, mais c'est à peu près le seul angle sous lequel les questions environnementales sont abordées. Ces travaux, empiriques

pour la très grande majorité, ont été initiés au milieu des années 1970. Ils entrent dans la catégorie plus générale des travaux sur les impacts des fluctuations des prix des commodités. Nous ne les détaillerons pas ici.

Le tour de la littérature plus récente est vite fait : il n'existe, à ma connaissance, qu'une dizaine de papiers publiés qui introduisent l'environnement, sous une forme ou une autre, dans les outils du macroéconomiste de court terme moderne que sont les DSGE. Ces articles sont de deux types : ils s'intéressent, comme les travaux plus anciens cités plus haut, aux impacts du prix de l'énergie et des chocs pétroliers sur les fluctuations macroéconomiques, ou, de façon plus novatrice, évaluent les coûts de court terme des politiques environnementales.

Dans la première catégorie, l'article de Kim et Loungani (1992) fait figure de précurseur. Les auteurs introduisent l'énergie comme facteur de production dans un modèle RBC à la Kydland-Prescott-Hansen, afin d'étudier les conséquences sur le cycle de chocs sur le prix de l'énergie. Bodenstein *et al.* (2011), Schwark (2014) et Acurio-Vasconez *et al.* (2015) poursuivent le même objectif, à l'aide de modèles DSGE.

Les travaux de la deuxième catégorie appartiennent à une littérature récente qui cherche à identifier les politiques environnementales les moins coûteuses en termes d'activité économique. En effet, si, dans le long terme, préservation de l'environnement et croissance peuvent sous certaines conditions aller de pair et non pas entrer en conflit, les travaux s'intéressant au court terme les opposent. La préservation de l'environnement est coûteuse, et il est important d'analyser et de quantifier les termes du *trade-off* entre celle-ci et l'activité économique.

Angelopoulos *et al.* (2010, 2013), Heutel (2012), Fischer et Springborn (2011) étudient les performances de différents types de politique environnementale dans des modèles RBC incorporant la pollution. La question posée est de savoir quelle politique environnementale, en prix (taxe) ou en quantité (marché de permis d'émission) est la plus performante, du point de vue du bien-être mais aussi de la volatilité des variables macroéconomiques, dans un contexte où les fluctuations sont causées par des chocs de productivité (voir Heutel et Fischer, 2013). Dissou et Karnizova

(2016) font de même dans un modèle RBC multisectoriel incorporant des chocs de productivité spécifiques aux différents secteurs. Ils distinguent plusieurs sources d'énergie imparfaitement substituables plus ou moins émettrices de CO<sub>2</sub>. Annicchiarico et Di Dio (2015) s'intéressent également à la façon dont différentes politiques environnementales interagissent avec la réponse de l'économie à des chocs nominaux et réels. Ils construisent un modèle de la Nouvelle Macroéconomie Keynésienne avec rigidités nominales à la Calvo, incorporant différents types de chocs : chocs de productivité, chocs sur la consommation publique et chocs de politique monétaire. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont un sous-produit de la production. La diminution des émissions peut avoir deux origines dans ce type de modèle : la politique environnementale et un choc négatif sur la production. Trois politiques environnementales sont examinées : taxe carbone, marché de permis d'émissions, objectif d'intensité d'émission (c'est-à-dire plafond portant sur les émissions par unité de production). Les auteurs évaluent la mesure dans laquelle la concurrence imparfaite et les rigidités nominales modifient les conclusions des travaux précédents, à savoir le fait que le marché de permis d'émission, fixant un plafond aux émissions, est plus susceptible que les autres politiques environnementales de lisser les fluctuations macroéconomiques. Ils montrent que la rigidité des prix modifie sensiblement la performance des politiques environnementales, et que la réponse optimale aux chocs de la politique environnementale dépend fortement du degré d'ajustement des prix et de la réaction de la politique monétaire. Annicchiarico et Di Dio (2017) poursuivent ces travaux en examinant de façon plus approfondie la réponse optimale de la politique monétaire aux chocs en présence d'une politique environnementale, et la façon dont politique monétaire et fiscalité environnementale interagissent.

L'intérêt de ces travaux est d'apporter un éclairage de court terme sur les politiques environnementales complémentaire aux éclairages habituels fournis par les modèles microéconomiques d'équilibre partiel statiques d'une part, et les modèles de croissance d'autre part.

Sachs (2009) explique que la nouvelle macroéconomie doit être structurelle, mais que « *both the neo-Keynesians and the free-market school regard structural issues such as energy, climate, and infrastruc-*

*ture to be of little macroeconomic significance. Perhaps these factors require a modicum of policy attention, but they are certainly not regarded as critical to restoring jobs, growth, and prosperity, and could even be a hindrance in the short term; for example, if climate-change policies hike up the price of energy.* » Nous sommes bien loin en effet de cet idéal d'une macroéconomie structurelle, et la crise semble n'y avoir rien changé. Blanchard *et al.* (2010) par exemple, dans leur papier très cité sur le renouveau de la macroéconomie après la crise, ne disent pas un mot de l'environnement, du climat, de l'énergie, de la santé, ou de l'éducation.

Il ne s'agit pas d'introduire de l'environnement partout. Mais il faut prendre acte du fait que les décisions économiques de court terme ont un impact sur l'environnement et qu'en retour la dégradation de celui-ci pèse sur l'activité économique, et comprendre les interactions entre la politique environnementale et les autres leviers de la politique économique. Un point de jonction particulièrement intéressant entre macroéconomie de court terme et environnement est celui du financement de la transition énergétique. Comment diriger l'épargne vers le financement des projets longs permettant de mener à bien cette transition et des investissements dans les technologies et les infrastructures appropriées ? La réponse la plus immédiate est de rendre ces projets et ces investissements rentables grâce à la tarification des externalités environnementales, et en particulier à la mise en place d'une taxe carbone. Une réponse complémentaire consiste à mettre en place des politiques volontaristes d'orientation des fonds vers les projets bas carbone. Ainsi, une petite littérature sur la politique monétaire non conventionnelle intelligente (« smart unconventional monetary policy ») ou encore l'assouplissement quantitatif vert commence à se développer. Elle consiste à remettre en cause la neutralité sectorielle des achats d'obligations d'entreprises par les banques centrales dans le cadre de l'assouplissement quantitatif, au profit d'une politique d'achat d'obligations d'entreprises « vertes » et d'abandon des obligations d'entreprises « sales », typiquement celles du secteur des énergies fossiles (Aglietta *et al.*, 2015). Campiglio (2016) expose d'autres propositions pour financer la transition. Cette littérature reste le fait d'un petit nombre d'économistes de l'environnement et n'a pas encore pénétré les grandes revues de macroéconomie.

## 1.2. Les manuels et les revues de macroéconomie

Du côté de l'enseignement, les cours de macroéconomie de court terme n'intègrent à ma connaissance jamais de considérations environnementales. L'environnement n'a aucune place dans les manuels de macroéconomie du court terme, pas plus récents qu'anciens, pas plus élémentaires qu'avancés. On n'y trouve aucune allusion dans Romer (2011), Bénassy (2011), Krugman et Wells (2012), Wickens (2012), Ljungqvist et Sargent (2012), Abel *et al.* (2013), Blanchard (2017), Burda et Wyplosz (2017), ou encore Uribe et Schmitt-Grohé (2017), pour ne citer que les manuels post-crise les plus utilisés. Le manuel d'Acemoglu, Laibson et List (2016) ne parle pas d'environnement non plus, mais on peut noter que les auteurs ont introduit un chapitre en ligne intitulé « Economics of Life, Health and the Environment » (Web Chapter 2).

Du côté des publications académiques, si on se limite aux revues *top field* du classement du CNRS en macroéconomie de mai 2016 sur la période 2009-2016, les faits sont les suivants :

- *American Economic Journal: Macroeconomics* : 2 articles, sur un total de 240 environ (30 articles en 2016, multiplié par 8 ans) ;
- *Journal of International Economics* : 9 articles sur environ 800 ;
- *Journal of Monetary Economics* : 4 articles sur environ 540 ;
- *Journal of Money, Credit and Banking* : 6 articles, portant tous sur les effets macroéconomiques des chocs pétroliers, sur environ 480 ;
- *Journal of Economic Dynamics and Control* : 52 articles sur environ 820, ce qui fait de cette revue une exception, en partie justifiée par le fait que beaucoup de ces articles s'intéressent en réalité au long terme et à la croissance.

## 2. L'environnement dans la macroéconomie du long terme

Les questions environnementales étant considérées comme des questions touchant au long terme, on pourrait s'attendre à ce que les travaux sur la croissance et l'enseignement des théories de la croissance leur fassent une place importante. Nous allons voir que c'est partiellement le cas en ce qui concerne la littérature, mais pas du tout en ce qui concerne l'enseignement.

## 2.1. La littérature

À l'exception des modèles de croissance ricardiens dans lesquels la terre est une ressource rare imposant une limite physique à la croissance, les théories de la croissance modernes ont longtemps ignoré l'environnement, perçu comme inépuisable. Elles se sont concentrées sur l'étude d'un monde stylisé dans lequel les agents produisent à l'aide de capital manufacturé et de travail, et retirent de la satisfaction de la seule consommation de biens manufacturés. Les archétypes de cette approche sont le modèle de Solow (1956) et le modèle de croissance optimale de Ramsey (1928). À partir des années 1970 et des chocs pétroliers cependant, quelques économistes ont reconnu la nécessité de tenir compte de l'environnement naturel, sous différents aspects, dans les modèles de croissance. L'actualité les a poussés à s'intéresser d'abord aux ressources non renouvelables et en particulier aux énergies fossiles. Dans la tradition ricardienne, ils ont principalement cherché à savoir dans quelles circonstances le caractère fini de l'environnement et la rareté des ressources naturelles constituent une limite physique à la croissance, et à quel rythme les ressources non renouvelables doivent être extraites. Les articles fondateurs de cet axe de recherche ont tous été écrits par des économistes fameux dont la spécialité n'était pas l'économie de l'environnement, qui n'existait d'ailleurs pas à cette époque en tant que champ de recherche spécifique, et publiés pour beaucoup d'entre eux dans un numéro spécial de la *Review of Economic Studies* de 1974 (vol. 41, n° 5, décembre), où l'on trouve les articles fondateurs de Dasgupta et Heal (1974), Solow (1974) et Stiglitz (1974).

Très vite cependant, l'introduction de considérations environnementales dans les modèles de croissance est devenue l'apanage des seuls économistes de l'environnement. Les travaux précurseurs de Dasgupta, Heal, Solow et Stiglitz n'ont eu que peu de retentissement auprès de la très grande majorité des macroéconomistes qui, une fois les effets des chocs pétroliers estompés, se sont remis à s'intéresser exclusivement aux variables macroéconomiques traditionnelles – inflation, *output*, emploi – et aux seules politiques monétaires et fiscales. Les revues de littérature de Xepapadeas (2005) et de Brock et Taylor (2005) en témoignent.

Les enseignements des modèles de croissance incorporant des ressources naturelles de cette époque sont clairs. La croissance de

l'économie dépend d'une part des caractéristiques de sa technologie et d'autre part de celles des préférences des agents qui la peuplent. En fonction de ces caractéristiques la croissance peut ou non être soutenable, au sens où le bien-être n'est pas décroissant au cours du temps.

L'activité de production est caractérisée par l'intensité de son utilisation de ressources naturelles comme facteurs de production (énergies fossiles, minerais, mais aussi air, eau et ressources renouvelables), et les émissions polluantes et les déchets qu'elle entraîne. Ces consommations de ressources et services environnementaux à des fins productives dépendent des caractéristiques de la technologie utilisée, et en particulier de la substituabilité entre ressources naturelles et capital manufacturé qu'elle autorise. S'il est aisé de remplacer les ressources naturelles par du capital manufacturé, c'est-à-dire si la substituabilité est grande, la finitude de l'environnement ne constitue pas nécessairement un frein à la croissance. Si au contraire la substituabilité est limitée, le seul moyen de repousser la limite physique constituée par la finitude de l'environnement est de changer de technologie et/ou de ressource, ce qui revient à remplacer la ressource naturelle par un équivalent non rare, à supposer que cela soit possible.

Les préférences des agents sont quant à elles caractérisées par leur caractère plus ou moins « vert », reflétant l'importance qu'ils attachent à l'environnement, et par le taux d'actualisation, caractérisant leur impatience, c'est-à-dire le poids qu'ils accordent au présent par rapport au futur. De nouveau, la mesure dans laquelle les agents sont prêts à substituer consommation de biens à qualité de l'environnement est centrale. Tout comme la technologie, ces caractéristiques comportementales évoluent au cours du temps au gré de la prise de conscience de la gravité des problèmes environnementaux et de la nécessité de léguer aux générations futures des ressources suffisantes et un environnement de qualité. Enfin, quand on s'intéresse à la croissance optimale, ce ne sont pas seulement les préférences individuelles qui entrent en jeu mais aussi les préférences sociales. En particulier, la valeur du taux d'escompte social est centrale quand il s'agit d'équité intergénérationnelle et de soutenabilité de la croissance. Weitzman (2001) qualifie la question du taux d'escompte social de « *one of the most critical problems in all of economics.* » Elle a donné lieu à de nombreux



débats et controverses. Elle est l'objet d'une littérature extrêmement abondante, qui semble très loin de converger vers un consensus.

Enfin, l'intervention publique est nécessaire pour implémenter le sentier de croissance optimale dans les économies décentralisées car les ressources naturelles sont très souvent utilisées de manière inefficace, leur prix de marché ne reflétant pas l'intégralité du coût social associé à cette utilisation. C'est le cas en particulier des ressources renouvelables (problème de libre accès, tragédie des communs) et des énergies fossiles polluantes. La littérature examine dans ce cadre le design et les effets de la politique environnementale, étendant à un cadre dynamique le principe de la taxation pigouvienne.

Cette littérature sur croissance et environnement a connu un renouveau en raison du changement climatique. Le centre d'intérêt s'est déplacé de la question de la rareté des ressources non renouvelables à celle du caractère polluant de leur utilisation. En effet, la combustion des énergies fossiles entraîne des émissions de CO<sub>2</sub> qui s'accumulent dans l'atmosphère. L'augmentation de la concentration de carbone dans l'atmosphère provoque à son tour une aggravation du fameux effet de serre, responsable du réchauffement climatique. Si l'on veut réellement éviter un réchauffement catastrophique la quantité de carbone qu'il nous reste à émettre est faible, beaucoup plus faible que celle contenue dans les énergies fossiles encore présentes dans le sous-sol terrestre (voir par exemple IPCC, 2014). La rareté n'est donc pas un problème, c'est l'accumulation du carbone dans l'atmosphère qui en est un.

Dans ce cadre, les modèles de croissance récents se sont intéressés à la façon de remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables et les technologies polluantes par des technologies propres, et de passer « de la croissance à la croissance verte » (Hallegatte *et al.*, 2011, Smulders *et al.*, 2014). La nouveauté de ces modèles est qu'ils décortiquent en profondeur le progrès technique, les conditions de son apparition et son orientation. Ils montrent que l'innovation est rarement spontanée, et n'a pas de raison d'être spontanément orientée dans la direction souhaitée. Par exemple, depuis la révolution industrielle, l'innovation a été largement destinée à économiser le travail. Elle a permis de doter les hommes de meilleurs outils, au premier rang desquels des

machines mues par les énergies fossiles. Si la société souhaite que l'innovation s'oriente dans une autre direction, permettant d'économiser les ressources naturelles et les services environnementaux, elle doit se doter d'une politique économique permettant de fournir aux chercheurs les incitations appropriées. Mais cela aura un coût en termes de croissance, à la fois direct, par exemple en raison du renchérissement des énergies fossiles, et aussi en termes d'éviction du progrès technique augmentant la productivité du travail, qui est le moteur de la croissance (Henriet *et al.*, 2014).

Une approche plus désagrégée ayant suscité une abondante littérature est celle du « progrès technique dirigé » (voir par exemple Smulders et de Nooij, 2003, Grimaud et Rouge, 2008, Di Maria et Valente, 2008, Acemoglu *et al.*, 2012). L'économie comporte un secteur de production « sale » et un secteur « propre », et la recherche peut être dirigée vers la mise au point de nouvelles technologies dans l'un ou l'autre de ces secteurs. Les innovations augmentent la productivité du travail dans le secteur où elles apparaissent. Si les innovations sont plus nombreuses dans le secteur « propre », la part dans l'économie du secteur « sale » se réduit progressivement et l'économie se place sur un sentier de croissance verte. La fiscalité environnementale et des subventions à la recherche dans les technologies propres sont des éléments fondamentaux pour engager en ce sens le progrès technique. Ces incitations doivent être d'autant plus puissantes qu'il existe un phénomène de dépendance historique au sentier de croissance (Acemoglu *et al.*, 2012) : l'innovation se fait plus facilement dans les secteurs les plus avancés, pour les biens desquels la part de marché est la plus grande et dont les prix sont les plus faibles ; or les secteurs actuellement les plus avancés sont les secteurs « sales ».

Les bénéfices de long terme d'un passage vers un mode de croissance propre ne doivent pas masquer les coûts de court-moyen terme. Le discours « marketing » de la croissance verte affirme que les politiques environnementales non seulement permettent de réduire la consommation de ressources naturelles, la pollution, la dégradation de l'environnement, mais de surcroît stimulent la croissance à moyen terme par l'innovation, la création de nouvelles opportunités d'investissement et d'activité, l'apparition de nouveaux métiers, etc. Les travaux théoriques permettent de dépasser ce type de discours, destinés à augmenter l'acceptabilité

de la politique environnementale mais souvent trompeurs, pour examiner les conditions précises d'apparition d'effets d'entraînement (*spillovers*) des politiques environnementales à moyen terme et les obstacles à la soutenabilité de la croissance.

Du côté des outils appliqués utilisés par les économistes du changement climatique on trouve des modèles d'équilibre général calculable (*Computable General Equilibrium Models*, CGE) et les modèles d'évaluation intégrée (*Integrated Assessment Models*, IAM). La méthodologie utilisée par les premiers est soit classique et bien connue, soit *ad-hoc* (modèles dits hybrides). Elle est exposée en détails dans l'article de L. Gissela, A. Saussay, P. Malliet et F. Reynes dans ce numéro. Nous nous concentrons ici sur les seconds. Les IAM couplent un modèle économique et un modèle physique décrivant de façon simplifiée le système climatique. Ce dernier modélise la façon dont l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère due à l'activité humaine, issue du modèle économique, se traduit en augmentation de la température terrestre. Le mécanisme est complexe et soumis à de multiples incertitudes, en raison des rétroactions entre augmentation de la température et absorption du carbone par les océans et les forêts, et d'autres phénomènes atmosphériques comme la formation des nuages et les précipitations. À son tour, l'augmentation de la température terrestre provoque des dommages, qui sont introduits dans le modèle économique ; ces dommages peuvent être des pertes de production ou directement des pertes de bien-être. Les « fonctions de dommages » sont elles-mêmes très mal connues, d'autant plus qu'on se situe à un niveau plus agrégé.

Le premier modèle d'évaluation intégrée, aboutissement d'un programme de recherche ayant débuté à la fin des années 1970, est le modèle DICE de William Nordhaus (1991, 1994, 2008). Il reste la référence aujourd'hui et a connu de très nombreux avatars. C'est un modèle déterministe de croissance classique à la Ramsey avec émissions dues à l'activité économique, module climatique et dommages. Les modèles à la DICE sont de petite taille et les mécanismes qu'ils incorporent sont transparents. Les autres IAM n'ont pas tous des fondements théoriques aussi fermes. Certains d'entre eux abandonnent les fondements microéconomiques et l'optimisation intertemporelle sous anticipations parfaites, et introduisent des formalisations *ad-hoc*, censées mieux représenter le monde réel,

ou des scénarios de croissance économique exogènes. Ils peuvent être de très grande taille, donc assez difficiles à appréhender autrement que comme des boîtes noires.

Les modèles d'évaluation intégrée sont principalement utilisés pour calculer une valeur sociale du carbone, afin de donner aux décideurs publics un ordre de grandeur du niveau initial et du profil temporel de la taxe carbone permettant de ramener les dommages à leur niveau optimal ou de contenir le réchauffement climatique en dessous d'un certain seuil. Ils sont très utilisés dans les cercles internationaux et ont une influence certaine sur les recommandations émises en matière de politique climatique. Ils sont aussi soumis à de violentes critiques, pas très différentes finalement de celles auxquels sont soumis les autres exercices de modélisation appliquée, les DSGE par exemple. Robert Pindyck, l'un des critiques les plus virulents, écrit : « *(integrated assessment models) have crucial flaws that make them close to useless as tools for policy analysis* » (Pindyck, 2013). Ou encore : « *IAM-based analyses of climate policy create a perception of knowledge and precision that is illusory and can fool policymakers into thinking that the forecasts the models generate have some kind of scientific legitimacy. Despite the fact that IAMs can be misleading as guides for policy, they have been used by the U.S. government to estimate the social cost of carbon (SCC) and evaluate tax and abatement policies* » (Pindyck, 2017).

Les travaux les plus récents semblent privilégier les IAM de petite taille et à fondements théoriques explicites, dans la tradition de DICE, solvables analytiquement (Golosov *et al.*, 2014 ; voir aussi Hassler *et al.*, 2016), ou non plus déterministes mais stochastiques (Lemoine et Traeger, 2014, Crost et Traeger, 2014), ou encore se rapprochant des DSGE (DSGE-IAM, Cai *et al.*, 2013). Dans ce dernier cas, la complexité de la résolution numérique est extrême, si bien que très peu de tentatives de ce type existent aujourd'hui.

Notons enfin qu'il n'existe rien de comparable ni sur le plan des modèles théoriques ni sur celui des outils appliqués qui permette d'analyser la question des pertes de la biodiversité et les politiques économiques appropriées. Cette question est pourtant l'autre grande question environnementale globale de notre temps, et pour l'instant la macroéconomie est tout à fait désarmée pour s'en saisir.

## 2.2. Les manuels et les revues sur la croissance

Très curieusement, de mon point de vue, les manuels de croissance font fort peu de place aux questions environnementales. On trouve au mieux un chapitre à la fin de l'ouvrage, abordant l'environnement (sous l'angle des ressources naturelles) à côté de la géographie et des institutions, pour expliquer ce que les modèles canoniques (les modèles de Solow et Ramsey, et les modèles fondateurs de la croissance endogène) ne prennent pas en compte.

Ainsi, parmi les manuels d'avant-crise, l'ouvrage de référence de Barro et Sala-i-Martin (1998) ne fait aucune allusion à l'environnement. Le manuel d'Aghion et Howitt (1998) fait figure d'exception, avec son chapitre 5 intitulé « Endogenous growth and sustainable development ». La situation évolue tout de même. Certes, la somme d'Acemoglu (2008) ne comporte rien sur l'environnement, sur presque mille pages. On ne trouve rien non plus dans La Granville (2009), ni dans Galor (2011). En revanche, le manuel d'Aghion et Howitt (2009) comporte un chapitre intitulé « Préserver l'environnement » (chapitre 16), Weil (2016) comporte deux chapitres sur l'environnement, les deux derniers (15 et 16) : « Géographie, climat et ressources naturelles » et « Ressources naturelles et environnement au niveau global », et Jones (2013) introduit un chapitre sur l'environnement (chapitre 10, « *Natural resources and economic growth* »), qui n'existait pas dans les premières éditions de son ouvrage (voir Jones, 1998).

Du côté des publications académiques, le *Journal of Economic Growth* a, au cours des dix dernières années, publié 5 articles comportant des ressources naturelles ou de l'environnement en général, sur un total de 120 articles publiés environ. On ne discerne aucune accélération en fin de période : il n'y a rien entre l'article de Brock et Taylor (2010) sur le modèle de Solow vert et l'article de Peretto et Valente (2015) sur les interactions entre progrès technique, ressources naturelles et dynamique de la population.

## 3. Conclusion

La prise de conscience des limites du mode de croissance initié par la révolution industrielle a été progressive, mais elle est aujourd'hui réelle. Les pays développés se sont révélés capables de régler quelques-uns des problèmes environnementaux locaux créés

par leurs techniques productives, comme certaines pollutions locales de l'air et de l'eau, tout en créant de nouveaux. Ils sont toujours impuissants face aux deux problèmes majeurs de notre temps que sont le réchauffement climatique et l'érosion de la biodiversité. En dépit de cette prise de conscience, la macroéconomie se préoccupe peu de ces questions alors que le besoin d'analyses et de travaux sur la politique environnementale est grand. Nous sommes encore loin de la macroéconomie structurelle que Sachs appelle de ses vœux.

Pourtant intégrer la sphère environnementale dans les modèles macroéconomiques ouvre un champ de recherche passionnant. Au centre de l'analyse se trouvent maintenant l'incertitude, l'irréversibilité, les changements de régimes. Incertitude car les phénomènes physiques sont incertains et les dommages également. Irréversibilité car les dommages environnementaux sont souvent irréversibles, au sens où la situation originelle ne peut être restaurée, et les décisions économiques également (voir par exemple Pommeret et Prieur, 2013). Dans un monde où l'irréversibilité serait la règle, on comprend que les conséquences de toute décision sont plus lourdes que dans un monde réversible, et qu'il convient d'agir de façon plus précautionneuse. L'irréversibilité peut être à la fois environnementale et technologique. L'irréversibilité environnementale est assimilée à l'existence de seuils. En deçà de ces seuils, l'environnement est raisonnablement résilient, et les technologies et les préférences sont caractérisées par une certaine substituabilité entre environnement et biens manufacturés. Si les seuils sont franchis, il n'y a plus de substituabilité possible, apparaissent des non-linéarités et éventuellement des phénomènes catastrophiques. L'irréversibilité peut également être technologique : mettre au point une nouvelle technologie qui économise les ressources naturelles et l'adopter à une grande échelle est très coûteux, et engage l'économie sur une nouvelle trajectoire technologique pour très longtemps. En sens inverse, faire aujourd'hui des choix d'infrastructures ou de capital « sales » engage aussi pour très longtemps. Incertitude et irréversibilité sont difficiles à intégrer dans les modèles de croissance régulière. Leur étude nécessite une problématique des changements de régimes, des transitions, du changement structurel. Car c'est bien de cela qu'il s'agit finalement : passer à un nouveau mode de croissance.

La crise financière globale de 2008 a obligé les macroéconomistes à remettre en cause la dichotomie de leurs modèles entre sphère réelle et sphère financière, et à rechercher des représentations du monde réel dans lesquelles ces sphères sont profondément interconnectées. Comme le disent avec force Carraro, Faye et Galleotti (2014), quelle catastrophe serait nécessaire pour que les macroéconomistes se décident à réviser de nouveau leurs modèles pour intégrer réellement les questions environnementales ?

## Références

- Abel A., B. Bernanke et D. Croushore, 2013, *Macroeconomics*, Pearson, 8<sup>e</sup> édition.
- Acemoglu D., 2008, *Introduction to Modern Economic Growth*, Princeton University Press.
- Acemoglu D., P. Aghion, L. Bursztyn et D. Hemous, 2012, « The environment and directed technical change », *American Economic Review*, 102(1) : 131-66.
- Acemoglu D., D. Laibson et J. List, 2016, *Macroeconomics*, Pearson.
- Acurio Vasconez V., G. Giraud, F. Mc Isaac et N.-S. Pham, 2015, « The effect of oil price shocks in a New-Keynesian framework with capital accumulation », *Energy Policy*, 86 : 844-854.
- Aghion P. et P. Howitt, 2008, *The Economics of Growth*, MIT Press.
- Aghion P. et P. Howitt, 1998, *Endogenous Growth Theory*, MIT Press.
- Aglietta M., É. Espagne et B. Perrissin Fabert, 2015, « Une proposition pour financer l'investissement bas carbone en Europe », *La note d'analyse*, 24, France Stratégie.
- Angelopoulos K., G. Economides et A. Philippopoulos, 2013, « First- and second-best allocations under economic and environmental uncertainty », *International Tax and Public Finance*, 20 : 360-380.
- Angelopoulos K., G. Economides et A. Philippopoulos, 2010, « What is the best environmental policy? Taxes, permits and rules under economic and environmental uncertainty », *CESifo Working Paper series*, 2980, CESifo Group Munich.
- Annicchiarico B. et F. Di Dio, 2017, « GHG emissions control and monetary policy », *Environmental and Resource Economics*, à paraître.
- Annicchiarico B. et F. Di Dio, 2015, « Environmental policy and macroeconomic dynamics in a New Keynesian model », *Journal of Environmental Economics and Management*, 69 : 1-21.
- Barro R. J. et X. Sala-i-Martin, 1998, *Economic Growth*, MIT Press.
- Bénassy J.-P., 2011, *Macroeconomic Theory*, Oxford University Press.

- Blanchard O., 2017, *Macroeconomics*, Pearson, 7<sup>e</sup> édition.
- Blanchard O., D. Giovanni et P. Mauro, 2010, « Rethinking Macroeconomic Policy », *IMF Staff Position Note*, SPN/10/03.
- Bodenstein M., C.J. Erceg et L. Guerrieri, 2011, « Oil shocks and external adjustment », *Journal of International Economics*, 83(2) : 168-184.
- Brock W. A. et Taylor, M. S., 2010, « The Green Solow model », *Journal of Economic Growth*, 15(2) ; 127-153.
- Brock W. A. et Taylor, M. S., 2005, « Economic growth and the environment: A review of theory and empirics », in P. Aghion et S. Durlauf (eds.), *Handbook of Economic Growth*, chapitre 28 : 1749-1821, Elsevier.
- Burda M. et C. Wyplosz, 2017, *Macroeconomics, a European text*, Oxford University Press, 7<sup>e</sup> édition.
- Cai Y., K. L. Judd et T. S. Lontzek, 2013, « The social cost of stochastic and irreversible climate change », *NBER Working Paper*, 18704.
- Campiglio E., 2016, « Beyond carbon pricing. The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy », *Ecological Economics*, 121 : 220-230.
- Carraro C., M. Fay et M. Galleotti, 2014, « Greening economics: It is time », *Vox*, 26 avril.
- Crost B. et C. Traeger, 2014, « Optimal CO2 mitigation under damage risk valuation », *Nature Climate Change*, 4 : 631-636.
- Daly H., 1991, « Towards an Environmental Macroeconomics », *Land Economics*, 67(2) : 255-259.
- Dasgupta P. et G. Heal, 1974, « The optimal depletion of exhaustible resources », *Review of Economic Studies* 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 3-28.
- Di Maria C. et S. Valente, 2008, « Hicks meets Hotelling: The direction of technical change in capital-resource economies », *Environment and Development Economics*, 13 : 691-717.
- Dissou Y. et L. Karnizova, 2016, « Emissions cap or emissions tax? A multi-sector business cycle analysis », *Journal of Environmental Economics and Management*, 79 : 169-188.
- Fischer C. et M. Springborn, 2011, « Emissions targets and the real business cycle: Intensity targets versus caps or taxes », *Journal of Environmental Economics and Management*, 62 : 352-366.
- Galor O., 2011, *Unified Growth Theory*, Princeton University Press.
- Golosov M., J. Hassler, P. Krusell, P. et A. Tsyvinski, 2014, « Optimal taxes on fossil fuel in equilibrium », *Econometrica*, 82(1) : 41-88.
- Grimaud A. et L. Rouge, 2008, « Environment, directed technical change and economic policy », *Environmental and Resource Economics*, 41 : 439-63.



- Hallegatte S., G. Heal, M. Fay et D. Treguer, 2011, « From Growth to Green Growth », *World Bank Policy Research Working Paper*, n° 5872.
- Hassler J., P. Krussell et T. Smith, 2016, « Environmental Macroeconomics », in *Handbook of Macroeconomics*, J. B. Taylor et H. Uhlig eds., volume 2B, 1893-2008, North Holland.
- Henriet F., N. Maggiar et K. Schubert, 2014, « A stylized energy-economy model for France », *The Energy Journal*, 35(4) : 1-37.
- Heutel G., 2012, « How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks », *Review of Economic Dynamics*, 15(2) : 244-264.
- Heutel G. et C. Fischer, 2013, « Environmental Macroeconomics: Environmental Policy, Business Cycles and Directed Technical Change », *Annual Review of Resource Economics*, 5 : 197-210.
- IPCC 2014, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J. C. Minx (eds.), Cambridge University Press.
- Jones C. I., 1998, *Introduction to Economic Growth*, Norton.
- Jones C. I. et D. Vollrath, 2013, *Introduction to Economic Growth*, Norton, 3<sup>e</sup> édition.
- Kim I-M. et P. Loungani, 1992, « The role of energy in real business cycle models », *Journal of Monetary Economics*, 29 : 173-189.
- Krugman P. et R. Wells, 2012, *Macroeconomics*, Worth Publishers, 3<sup>e</sup> édition.
- La Grandville O. de, 2009, *Economic Growth: A Unified Approach*, Cambridge University Press.
- Lemoine D. et C. Traeger, 2014, « Watch your step: optimal policy in a tipping climate », *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(1) : 1-31.
- Ljungqvist L. et T. J. Sargent, 2012, *Recursive Macroeconomic Theory*, 3<sup>e</sup> édition, MIT Press.
- Nordhaus W. D., 2008, *A Question of Balance: Weighting the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press.
- Nordhaus W. D., 1994, *Managing the Global Commons; The Economics of Climate Change*, MIT Press.
- Nordhaus W. D., 1991, « To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect », *The Economic Journal*, 101 : 920-937.
- Peretto P. et S. Valente, 2015, « Growth on a finite planet: resources, technology and population in the long run », *Journal of Economic Growth*, 20 : 305-331.

- Pindyck R. S., 2017, « The use and misuse of models for climate policy », *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1) : 100-114.
- Pindyck R. S., 2013, « Climate change policy: what do the models tell us? », *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860-872.
- Pommeret A. et F. Prieur, 2013, « Double irreversibility and environmental policy timing », *Journal of Public Economic Theory*, 15(2) : 273-291.
- Ramsey F., 1928, « A mathematical theory of savings », *The Economic Journal*, 38(152) : 543-559.
- Romer D., 2011, *Advanced Macroeconomics*, McGraw-Hill, 4<sup>e</sup> édition.
- Sachs J., 2009, « Rethinking Macroeconomics », *Capitalism and Society*, 4(3), Article 3.
- Schwark F., 2014, « Energy price shocks and medium term business cycles », *Journal of Monetary Economics*, 64 : 112-121.
- Smulders S. et M. de Nooij, 2003, « The impact of energy conservation on technology and economic growth », *Resource and Energy Economics*, 25 : 59-79.
- Smulders S., M. Toman et C. Withagen, 2014, « Growth theory and 'green growth' », *Oxford Review of Economic Policy*, 30(3) : 423-446.
- Solow R. M., 1956, « A contribution to the theory of economic growth », *Quarterly Journal of Economics*, 70(1) : 65-94.
- Solow R. M., 1974, « Intergenerational equity and exhaustible resources », *Review of Economic Studies* 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 29-45.
- Stiglitz, J., 1974, « Growth with exhaustible natural resources: Efficient and optimal growth paths », *Review of Economic Studies*, 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 123-137.
- Uribe M., et S. Schmitt-Grohé, 2017, *Open Economy Macroeconomics*, Princeton University Press.
- Xepapadeas A., 2005, « Economic growth and the environment », in K. G. Mäler et J. Vincent (eds.), *Handbook of Environmental Economics*, chapitre 23, 1220-1271, Elsevier.
- Weil D., 2016, *Economic Growth*, Routledge, 3<sup>e</sup> édition.
- Weitzman M. L., 2001, « Gamma discounting », *American Economic Review*, 91(1) : 260-271.
- Wickens M., 2012, *Macroeconomic Theory: A Dynamic General Equilibrium Approach*, Princeton University Press, 2<sup>e</sup> édition.