

# Dette publique et policy mix climatique : l'éclairage des modèles macroéconomiques stocks-flux cohérents

Jacques Mazier, Luis Reyes

DANS **REVUE FRANÇAISE D'ÉCONOMIE** 2023/2 (VOL. XXXVIII), PAGES 189 À 219  
ÉDITIONS **REVUE FRANÇAISE D'ÉCONOMIE**

ISSN 0769-0479

DOI 10.3917/rfe.232.0189

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://www.cairn.info/revue-francaise-d-economie-2023-2-page-189.htm>



**CAIRN.INFO**  
MATIÈRES À RÉFLEXION



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...

Flashez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.

**Distribution électronique Cairn.info pour Revue française d'économie.**

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

Jacques  
**MAZIER**

Luis  
**REYES**

---

**Dette publique et policy mix  
climatique : l'éclairage des  
modèles macroéconomiques  
stocks-flux cohérents**

**D**

ans l'abondante littérature  
consacrée au policy mix pour gérer la transition climatique, les

travaux s'appuyant sur les modèles SFC (stocks-flux cohérents) d'inspiration *post*-keynésienne occupent une place modeste. Par leur structure, ces modèles sont bien adaptés à l'étude du capitalisme financiarisé contemporain, mais leur diffusion est restée relativement confidentielle. Dans les travaux initiaux, ces modèles étaient essentiellement théoriques. Plus récemment, des modèles économétriques se sont développés dans plusieurs pays en retenant le même cadre théorique, autorisant une meilleure quantification des phénomènes. Enfin, les modèles SFC ont intégré la dimension environnementale pour articuler les cycles réels et financiers avec la dynamique climatique. Les risques de crise financière liée au dérèglement climatique ont été soulignés.

Les modèles SFC trouvent leurs origines dans les travaux pionniers de Wynne Godley à Cambridge dans les années 1970-1980 qui utilisaient une approche stock-flux cohérente pour étudier les problèmes de balance des paiements, d'endettement et de croissance soutenable (Godley et Cripps [1983]). La nécessité de raisonner dans un cadre financier SFC se retrouvait aussi dans les travaux de James Tobin menés indépendamment à Yale depuis les années 1960 et mettant plus l'accent sur les choix de portefeuille (Tobin [1982]), à savoir sur une approche monétaire fondée sur la cohérence des flux des fonds prêtables dans un contexte d'équilibre général (Tobin [1969]). Quatre points de convergence peuvent être observés au niveau de la méthode : la nécessité d'une démarche SFC pour rendre compte de la dynamique macroéconomique, la nécessité de distinguer plusieurs actifs et taux de rendement, la modélisation des opérations monétaires et financières, la prise en compte de l'ensemble des contraintes budgétaires qui interdit l'existence de « trous noirs ». Des éléments de convergence au niveau de la méthode n'empêchaient pas d'importantes divergences au niveau de la modélisation.

Les modèles SFC à la Wynne Godley sont des modèles macroéconomiques sans fondements microéconomiques, où souvent l'économie domestique ne comprend qu'un partage entre secteur privé et secteur public et où les problèmes de balances de paiements sont importants, comme au Royaume-Uni

et aux États-Unis. Ces modèles se sont avérés bien adaptés à l'étude des déséquilibres des économies financiarisées des années 1990-2000 où les interactions entre secteurs réels et financiers étaient un enjeu important. Les travaux réalisés par Godley au sein du Levy Institute au cours des années 1990 en ont été une bonne illustration, avec la mise au point du Levy model of the US et ses analyses de l'origine des crises américaines de 2000 et 2008 (Godley [1999] ; Godley *et al.* [2005]).

Une collaboration fructueuse de Wynne Godley avec Marc Lavoie à partir du début des années 2000 a débouché sur une formalisation plus précise des cycles financiers dans une économie domestique (Lavoie et Godley [2001]). L'analyse a été élargie au niveau international à l'étude des déséquilibres de l'économie mondiale (Godley et Lavoie [2003]) et de la zone euro (Godley et Lavoie [2007a]) avec des modèles à deux ou trois pays. Dans ces modèles, le taux de change euro-dollar est déterminé d'une manière implicite comme résultat de l'ajustement entre offre et demande de bons américains, la demande provenant d'un comportement de portefeuille à la Tobin. Cette recherche a été synthétisée dans l'ouvrage de référence *Monetary Economics* (Godley et Lavoie [2007b]) qui inclut une modélisation détaillée du comportement bancaire en termes de ratio de capital requis. Cette modélisation SFC s'appuyant sur un bilan complet des agents permet d'analyser l'efficacité comparée des politiques budgétaire et monétaire et l'évolution des structures de bilan, des contraintes budgétaires et des ratios d'endettement des agents. Elle a été prolongée par un ensemble de travaux élargissant le champ d'analyse en s'intéressant au marché du logement, au rationnement du crédit (Le Héron et Mouakil [2008]), aux déséquilibres de la zone euro et aux régimes monétaires alternatifs (Duwicquet et Mazier [2010] ; Mazier et Valdecantos [2019]), à la réforme du système monétaire international avec le développement du bancor (Valdecantos et Zezza [2015]) ou des DTS. Une présentation de différents modèles aux niveaux national et international se trouve dans Mazier [2020].

Les modèles SFC à la Godley-Lavoie sont des modèles macroéconomiques sans fondements microéconomiques où

les firmes ne maximisent pas leurs profits, ni les ménages leurs fonctions d'utilité. Les agents ont des normes ou des objectifs et réagissent aux déséquilibres par des fonctions d'ajustement partiel. Conformément à une perspective kaleckienne, les évolutions à long terme apparaissent comme le résultat des enchaînements de court terme. Selon les périodes et les caractéristiques structurelles des cycles réels et financiers, des phases de croissance plus stable ou des évolutions divergentes peuvent se produire. Basés sur les comptes nationaux, ces modèles intègrent les secteurs réels et financiers d'une manière cohérente en flux et en stock. Ils sont principalement tirés par la demande mais le taux d'utilisation des capacités de production peut être pris en compte et intervenir dans la détermination de l'investissement et des prix, en complément d'un comportement de mark up. Les relations macroéconomiques décrivent comment le système économique se reproduit de période en période dans un cadre institutionnel donné.

Les modèles SFC originaux sont théoriques ou calibrés d'une manière simple. Depuis les années 2010, le calibrage s'est affiné et des modèles SFC économétriques se sont développés. Le rôle précurseur du Levy Model of the US dans l'étude des crises américaines a déjà été mentionné. Le modèle CAM (Cambridge Alphametrics Model) de Francis Cripps doit aussi être cité. C'est un modèle SFC où l'économie mondiale est découpée en dix grandes zones et dont les premières versions remontent aux années 1990 (*cf.* Cripps [2014] pour une présentation récente). Il s'est avéré utile pour la construction de scénarios à moyen-long terme de l'économie mondiale. Un modèle SFC détaillé et partiellement économétrique a été élaboré à la Banque d'Angleterre pour étudier les différentes composantes de la politique monétaire (Burgess *et al.* [2016]). D'autres modèles SFC économétriques ont suivi en Grèce pour étudier la crise grecque ; en Italie, ou au Danemark où l'impact des prix de l'immobilier sur les cycles financiers et les fluctuations de l'activité économique est souligné ; aux Pays-Bas, économie très ouverte financièrement, où les effets du gonflement de la sphère financière consécutif aux politiques monétaires accommodantes

sont étudiés ; en Argentine, pour analyser la décennie perdue des années 2010 ; enfin, en France où les effets de politiques monétaires non conventionnelles sont évalués (*cf.* Byrialsen *et al.* [2022] pour une présentation de ces modèles).

Ce relatif dynamisme peut être resitué dans un contexte de critique des modèles Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) qui ont montré leurs limites dans l'étude des déséquilibres des années 2000-2010. Des hypothèses plus réalistes ont été introduites dans ces modèles avec les asymétries d'information, la rigidité des prix ou le rationnement du crédit mais le cadre de l'agent représentatif maximisant sa fonction d'utilité demeure inchangé. Ces modèles sont des modèles d'offre et ne prennent pas, ou si peu, en compte la finance, ce qui explique leur difficulté à rendre compte des années 2000.

Les modèles SFC sont également mieux armés pour étudier les déséquilibres internationaux que les modèles d'équilibre général (Obstfeld et Rogoff [2005]). Malgré un grand luxe de détails dans le traitement du comportement de maximisation du consommateur et d'ajustement par les prix relatifs, ces derniers modèles souffrent de graves insuffisances. La résorption des déséquilibres ne passe que par les prix relatifs avec des niveaux de production constants. La finance n'est décrite qu'à travers une matrice rigide des différents actifs et passifs, sans aucune analyse de la dynamique flux-stocks. Comme cela est souvent le cas dans ce type de modèle, l'investissement des entreprises est inexistant. Enfin l'inflation est également absente ou supposée contrôlée par les banques centrales.

D'une certaine manière, les modèles SFC empiriques ont renoué avec les modèles macroéconométriques structurels des années 1970 qui avaient été abandonnés en raison de l'absence de fondements microéconomiques rigoureux et d'une prise en compte insuffisante des anticipations et des réactions des agents. Une différence notable est, cependant, que ces modèles n'incorporaient le volet financier que d'une manière incomplète, sans traitement cohérent de l'ensemble des bilans et des relations flux-stocks, ce qui s'expliquait par l'inexistence, à l'époque, des comptes de patrimoine. Il est intéressant de

noter que cette réhabilitation partielle des structural econometric models se retrouve, en partie, dans des publications comme celle de l'Oxford Review of Economic Policy sur la reconstruction de la théorie macroéconomique avec, notamment, l'article de Wren-Lewis [2018] sur la fin de l'hégémonie des fondements microéconomiques de la macroéconomie.

Depuis la fin des années 2010 une nouvelle génération de modèles SFC est apparue en incorporant la dimension climatique. Cette extension est naturelle dans la mesure où la prise en compte de l'environnement revient à raisonner sur une conception élargie du patrimoine des agents qui est menacé par le dérèglement climatique et, de façon plus globale, la dégradation de la biodiversité. Mais l'articulation des deux logiques n'a rien d'évident, car il faut combiner une logique d'accumulation du capital à court-moyen terme, qui est celle des modèles SFC, avec une logique de long terme, qui est celle de la transition climatique. Par ailleurs, les modèles SFC recouvrent une dynamique nationale et décrivent l'économie mondiale comme une articulation de blocs nationaux ou régionaux interdépendants. Le changement climatique et la dégradation de la biodiversité ont directement une dimension mondiale qui s'impose aux espaces nationaux. Deux approches peuvent être distinguées. La première cherche à reproduire la dynamique mondiale du changement climatique et son imbrication avec les dynamiques réelle et financière appréhendée au niveau mondial. Ce sont donc des modèles mondiaux à une seule zone qui sont proposés. La seconde se focalise sur des modèles nationaux avec des économies qui subissent le changement climatique mais peuvent mettre en œuvre à leur échelle des politiques visant à le maîtriser. Dans les deux cas un modèle SFC décrit la dynamique réelle et financière et interagit avec un bloc climatique plus ou moins développé selon les cas.

Après cette présentation rapide des fondements des modèles SFC, le présent article examine quel peut être leur apport à la définition d'un policy mix, c'est-à-dire d'une combinaison de politiques budgétaire et monétaire, facilitant la mise en œuvre d'une politique de transition climatique et de préservation

vation de la biodiversité. Dans un contexte de résurgence de l'inflation et de niveau élevé d'endettement public, la question du policy mix est complexe. Elle ne peut être abordée ici dans sa globalité et l'apport des modèles SFC sera examiné sous deux angles : l'efficacité des politiques monétaires non conventionnelles et la possibilité de verdir les politiques monétaire et budgétaire. Face à des marges de manœuvre budgétaires limitées, les politiques monétaires non conventionnelles sont mises en avant comme une réponse possible pour contribuer au financement du coût élevé de la transition climatique.

Leur efficacité sera évaluée, dans une première partie, en s'appuyant sur les enseignements tirés des modèles SFC, lesquels sont bien armés pour traiter cette question. Dans une seconde partie, l'approche sera élargie en s'appuyant sur les modèles SFC intégrant la dimension environnementale. Les conclusions à en tirer pour la définition d'un policy mix vert facilitant la transition climatique sont examinées.

## **Les modèles SFC et l'efficacité des politiques économiques non conventionnelles**

Sans faire une présentation exhaustive des enseignements tirés des modèles SFC en matière de politiques monétaire et budgétaire, l'efficacité des politiques économiques non conventionnelles peut être évaluée à partir du cas français où un modèle SFC économétrique assez représentatif de ceux existant dans d'autres pays a été estimé (Mazier et Reyes [2022a] ; [2022b]). Dans ce modèle les firmes ont un comportement d'accumulation de type kaleckien avec un effet positif de la part des profits et de l'output gap et un effet négatif du taux d'intérêt réel et d'un ratio d'endettement. Le taux d'accumulation financière



(les achats d'actions par les firmes), trop souvent ignoré dans les modèles du capitalisme financiarisé contemporain, est décrit explicitement avec un effet positif du taux de profit, du taux de rentabilité financière et du ratio d'endettement. Une norme d'endettement des firmes reflète une relation institutionnelle entre banques et firmes avec un effet positif du taux de profit et négatif du taux d'intérêt réel. Les firmes détiennent des dépôts et des crédits interentreprises. Elles équilibrent leur compte en émettant des actions.

Les ménages consomment en fonction de leur revenu disponible réel avec un effet de richesse. L'investissement des ménages dépend également du revenu disponible avec un effet négatif du taux d'intérêt réel et un effet positif du prix du foncier qui est lui-même dépendant de l'investissement des ménages et contribue à entretenir le boom de l'immobilier. Le comportement de portefeuille des ménages est décrit simplement en pourcentage du revenu disponible. À titre principal, ils détiennent des dépôts avec un effet négatif du taux d'intérêt réel à moyen terme. La demande d'actions dépend positivement du taux de rentabilité financière des entreprises et négativement du taux d'intérêt réel à moyen terme. La demande d'assurance est reliée au ratio de dépendance démographique. Les ménages équilibrent leur compte en s'endettant auprès des banques.

Les banques sont accommodantes dans la version actuelle du modèle. Elles accordent tous les crédits demandés par les ménages, les firmes et le Reste du Monde. Elles achètent toutes les obligations publiques restant sur le marché. Elles émettent les obligations privées et les actions domestiques nécessaires pour équilibrer ces deux marchés. Elles collectent les dépôts nets et les assurances souscrites. Elles ont un comportement de portefeuille simplifié mais conforme aux attentes. Le taux d'accumulation des titres étrangers détenus par les banques dépend du différentiel entre taux d'intérêt domestique et étranger. La demande d'obligations privées domestiques est sensible au taux de croissance globale de l'économie et également au différentiel entre taux d'intérêt domestique et étranger. Le taux d'accumulation financière des banques (leurs achats d'actions) dépend

du taux de rentabilité financière. Les banques équilibrent leur compte en soldant sur le refinancement auprès de la Banque de France en régime normal ou sur les réserves bancaires détenues auprès de la Banque de France depuis la mise en place des politiques de Quantitative Easing (QE). Le traitement de la Banque de France est lui-même simplifié. Les profits nets des intérêts nets reçus sont transférés au gouvernement sous forme d'impôt. Les billets sont émis en fonction de la demande. Les obligations publiques, privées et étrangères détenues sont exogènes dans le cadre du QE. Le TARGET2, solde des échanges réels et financiers entre la France et le reste de la zone euro, est à l'actif de la Banque de France et au passif de la BCE (qui fait partie du Reste du Monde dans les conventions comptables retenues). Le TARGET2 est considéré comme exogène car dépendant de facteurs non décrits par le modèle. Le taux d'intérêt de la BCE est exogène et joue un rôle directeur dans la détermination des autres taux. Le taux d'intérêt à 10 ans sur les obligations publiques est également exogène dans une version initiale du modèle. Il intervient dans la détermination des autres taux, combiné ou non avec le taux de la BCE. Le prix des obligations publiques varie en sens inverse de ce taux et contribue à la fixation des prix des autres obligations. Dans une autre version du modèle, le taux d'intérêt à 10 ans a été endogénéisé à partir d'une détermination implicite où, conformément à la logique des modèles SFC, le taux d'intérêt assure l'équilibre du marché des titres publics. Cette version fonctionne relativement bien, mais appelle des approfondissements.

Le Reste du Monde est traité d'une manière traditionnelle avec des exportations et des importations dépendant de la demande étrangère et intérieure et d'un effet compétitivité-prix. Les entrées de capitaux sous forme de dépôts, de titres publics et privés détenus par le Reste du Monde, et de prêts, dépendent du niveau d'activité intérieure et du différentiel de taux d'intérêt corrigé de la variation anticipée de change. Les actions détenues par le Reste du Monde sont, quant à elles, sensibles au taux de rentabilité financière des entreprises. Les sorties de capitaux sous la forme de crédit au Reste du Monde dépendent du niveau

d'activité à l'étranger. Les autres sorties de capitaux, titres étrangers et actions étrangères, sont égales à la somme des demandes par les résidents. Le compte du Reste du Monde s'équilibre au niveau des dépôts à l'étranger.

Le gouvernement est également décrit d'une manière traditionnelle avec des impôts et cotisations sociales reliés aux revenus et au niveau d'activité, des dépenses publiques (consommation, investissement, prestations) et un emploi public exogènes. L'endettement public équilibre le compte du gouvernement. Différentes formes de politiques non conventionnelles ont été passées en revue : distribution de monnaie hélicoptère, investissement public avec endettement et rachat de la dette par la banque centrale, annulation de la dette publique détenue par la banque centrale, recapitalisation des fonds propres de la banque centrale, en créant sa propre monnaie. Ces politiques non conventionnelles sont présentées par leurs promoteurs comme un moyen pour élargir les marges de manœuvre des finances publiques et contribuer au financement de la transition climatique (Couppey-Soubeyran [2020] ; Institut Rousseau [2022]).

Encadré 1

### **Un modèle SFC économétrique de l'économie française**

L'économie est divisée en cinq secteurs institutionnels (firmes, ménages, banques, Banque de France, gouvernement) qui échangent avec le Reste du Monde. Le modèle est agrégé en un seul produit. La production (à prix constants) est déterminée par la demande intérieure et les exportations nettes des importations. Une contrainte d'offre est introduite avec une simple fonction de production déterminant une production potentielle et permettant le calcul d'un output gap. Cet output gap, représentatif du taux d'utilisation des capacités de production, est un déterminant important du taux d'accumulation des firmes. Il intervient aussi comme indicateur de pression de la demande dans l'équation de prix, en complément d'un mark up sur les coûts salariaux unitaires et d'un effet des prix des importations. Le partage salaires-profits-impôts repose sur une équation salaires-prix-chômage et sur des équations de type institutionnel. L'emploi est déterminé à partir du niveau d'activité avec un ajustement par

rapport à l'emploi désiré. La population active résulte d'une flexion du taux d'activité.

À côté des flux de revenus et de demandes, dont l'accumulation de capital, les agents ont des comportements d'endettement, de placements financiers et d'émission d'actions qui sont décrits en distinguant plusieurs types d'actifs : billets ; dépôts ; obligations publiques, étrangères et privées ; crédit ; actions étrangères et domestiques ; assurance. En complément du logement, les achats de terrain sont aussi pris en compte et constituent une composante importante en raison de la hausse des prix du foncier. Les variations d'actifs et de passifs ainsi que les investissements et les variations de stocks sont décrits d'une manière SFC, en incluant les gains et les pertes en capital (également une composante importante). Les tableaux d'emplois – ressources en flux, combinés avec les comptes de réévaluation, permettent de passer d'un bilan d'une année à l'autre. L'ensemble des équilibres en ligne et en colonne sont écrits dans le modèle, sauf une équation qui ne doit pas être écrite pour respecter la loi de Walras. Dans le cas présent, c'est l'équilibre de la Banque de France qui est l'équation manquante. La vérification de l'équilibre comptable permet cependant de s'assurer que le modèle est bien spécifié.

Le modèle a été estimé sur la période 1980-2019 en se limitant à des méthodes d'estimation simples (méthode des moindres carrés ordinaires et modèles à correction d'erreur) et en utilisant les comptes nationaux de l'Insee et les comptes financiers de la Banque de France. Les simulations sur le passé donnent des résultats acceptables. Un cheminement de référence 2019-2035 a été construit en faisant abstraction des crises successives pour calculer un ensemble de multiplicateurs de base et évaluer différentes politiques économiques. De nouvelles estimations intégrant les années 2020 et 2021 et de nouvelles projections sont en cours.

Le policy mix peut être étudié à travers la combinaison de différents instruments : consommation et investissement publics, fiscalité, cotisations et prestations sociales pour la politique budgétaire ; taux d'intérêt de la banque centrale pour la politique monétaire. Le ratio d'endettement public résulte du jeu du modèle et permet d'en étudier la soutenabilité. La description des différents marchés et de leurs interactions rend possible l'analyse de formes non conventionnelles de la politique monétaire. Le QE est décrit à travers les opérations d'achat de titres publics et privés par la banque centrale. La monnaie héli-

coptère peut être distribuée à partir du compte du Trésor auprès de la banque centrale après reversement sous différentes formes. Le rachat de la dette publique par la banque centrale et son annulation partielle peuvent aussi être examinés ainsi que les possibilités de recapitalisation des fonds propres de la banque centrale.

Dans un sens restrictif, la monnaie hélicoptère signifie la distribution de billets aux ménages par la banque centrale. Milton Friedman envisage aussi le cas de l'accès des entreprises à un surplus de liquidités, sans préciser sous quelle forme exacte. Une définition extensive de la distribution de monnaie hélicoptère au gouvernement est retenue ici sous forme de l'alimentation du compte du Trésor auprès de la banque centrale, par exemple pour un montant de 1 % du PIB, d'une manière ponctuelle ou permanente, qui permet de financer un supplément d'investissement public pour un montant équivalent. Il en résulte sans surprise un supplément d'activité (de 1,2 % à court terme), accompagné d'une dérive inflationniste qui demeure contenue, même en cas de choc permanent. Ce surcroît d'activité est du même ordre de grandeur que le supplément d'investissement soit financé par la monnaie hélicoptère ou, plus traditionnellement, par l'endettement public. La différence se situe au niveau des modalités de financement. Le ratio dette publique sur PIB décroît en cas de financement par la monnaie hélicoptère (de 4 % du PIB à horizon de 10 ans) mais, en contrepartie, la richesse financière de la banque centrale se dégrade fortement (de 13 % du PIB) et les réserves bancaires auprès de la banque centrale augmentent également (Mazier et Reyes [2022b], pp. 41-77). Une telle détérioration ne serait pas un problème pour les promoteurs de ce type de financement car une banque centrale ne peut être analysée comme une simple banque de second rang et pourrait continuer à fonctionner avec des fonds propres négatifs. Cela serait le cas pour un choc ponctuel et limité dans le temps. Une politique de monnaie-hélicoptère transitoire ne pose pas de problème fondamental et le choc inflationniste serait de faible ampleur. La difficulté est de se limiter à une action purement ponctuelle et de revenir à la normale. En outre, dans les pays

de la zone euro qui ne disposent plus, à proprement parler, de banque centrale nationale, un tel recours à la monnaie hélicoptère ne serait pas possible dans l'état actuel des traités européens. En revanche, une politique de monnaie hélicoptère permanente est moins acceptable. Les marchés financiers pourraient pousser les taux d'intérêt à la hausse et le volume des réserves bancaires pourraient favoriser des sorties de capitaux et des dérapages sur les marchés financiers.

Le financement d'un supplément d'investissement public par endettement public avec rachat de la dette publique par la banque centrale est un autre cas de figure qui peut être vu comme une illustration de la Modern Monetary Theory (Kelton [2020]). Les effets, en termes de croissance et d'inflation, sont proches des cas précédents. Au niveau financier les résultats sont voisins du cas usuel où il y a endettement public sans rachat par la banque centrale. Les banques détiennent moins de bons publics et leurs réserves bancaires auprès de la banque centrale sont accrues. La richesse financière de la banque centrale est stable (à la différence du cas du financement par monnaie hélicoptère). Lorsque le taux d'intérêt des titres publics est endogène, le financement par endettement public s'accompagne d'une hausse des taux qui demeure limitée. Le rachat par la banque centrale du supplément de dette publique permet de mieux contenir la hausse des taux, si bien que les conclusions précédentes ne sont pas fondamentalement modifiées. Ce résultat est toutefois à approfondir car l'endogénéisation des taux d'intérêt est une question difficile. L'encadré n°2 explique comment le taux d'intérêt des titres publics peut être endogénéisé.

#### Encadré 2

##### **Endogénéisation du taux d'intérêt des titres publics**

Dans son principe le taux d'intérêt à 10 ans des obligations publiques  $i_{10}^G$  est endogénéisé à partir d'une détermination implicite où le taux d'intérêt assure l'équilibre du marché des titres publics entre l'offre  $p^G \Delta B^G$  qui vient de l'équilibre du compte du gouvernement et la

demande par les différents agents, les banques ( $p^G \Delta B^{BG}$ ), la banque centrale ( $p^G \Delta B^{CBG}$ ), les firmes ( $p^G \Delta B^{FG}$ ) et le Reste du Monde ( $p^G \Delta B^{RG}$ ).

$$p^G \Delta B^G = p^G \Delta B^{BG} + p^G \Delta B^{CBG} + p^G \Delta B^{FG} + p^G \Delta B^{RG}$$

En substituant dans l'équation précédente la demande de titres publics par le Reste du Monde ( $p^G \Delta B^{RG}$ ) et par les banques ( $p^G \Delta B^{BG}$ ) en pourcentage du PIB :

$$(p^G \Delta B^{RG} / pY) = 0,02 + 0,78 (i_{10}^G - i^{LT*} + \Delta NE / NE_{-1})$$

$$(p^G \Delta B^{BG} / pY) = 0,35 (p^G \Delta B^{BG} / pY) - 1 + 0,5 (i_{10}^G - i^{LT*} + \Delta NE / NE_{-1})$$

où  $i^{LT*}$  est le taux d'intérêt à long terme étranger et  $NE$  le taux de change effectif nominal, et en résolvant par rapport à  $i_{10}^G$  nous obtenons :

$$i_{10}^G = i^{LT*} + \Delta NE / NE_{-1} + 0,78 [(p^G \Delta B^G - p^G \Delta B^{CBG} + p^G \Delta B^{FG}) / pY - 0,02 - 0,35 (p^G \Delta B^{BG} / pY)_{-1}],$$

où les bons publics détenus par la banque centrale  $p^G \Delta B^{CBG}$  sont déterminés par le QE, les bons publics détenus par les firmes  $p^G \Delta B^{FG}$  et déterminés en pourcentage de la valeur ajoutée et les bons publics émis par le gouvernement  $p^G \Delta B^G$  soldent son compte. Selon cette équation, le principal déterminant du taux à 10 ans des titres publics est le taux étranger après correction de la variation anticipée du taux de change ( $i^{LT*} + \Delta NE / NE_{-1}$ ). Comme on le constate, une plus grande émission de titres publics fait monter les taux tandis qu'un QE plus actif les fait baisser. La résolution est cependant plus complexe pour deux raisons : les équilibres financiers sont comptablement moins directement vérifiés lorsque l'équilibre du marché des bons publics est écrit à l'envers pour déterminer le taux d'intérêt, et les prix des titres publics ( $p^G$ ) et les taux ( $r^G$  taux moyen des titres publics,  $i^G$  taux à 10 ans et  $r_\epsilon$  taux directeur de la BCE) sont eux-mêmes interdépendants, comme l'indiquent les équations ci-dessous. Une version simplifiée respectant la logique précédente a été utilisée et des travaux complémentaires sont en cours.

$$\begin{aligned} \text{Log } p^G &= -0,39 + 0,1 \log(1/r^G) \\ r^G &= 1,1 + 0,75 i^G + 0,1 r \end{aligned}$$

La proposition d'annulation d'une partie de la dette publique détenue par la banque centrale est avancée par certains pour réduire les contraintes budgétaires pesant sur le gouvernement (Scialom et Bridonneau [2020]). Une annulation de la dette à hauteur de 15 % du PIB accompagnée d'un supplément d'investissement public, financé par un nouvel endettement, se traduit par une relance de l'activité du même type que celle observée dans les cas précédents. Les promoteurs de ce type de politique insistent sur la spécificité de ces investissements publics en faveur de la transition dont les effets positifs sont mal pris en compte dans ce type de modèle. Sans doute, mais cela ne modifie pas l'essentiel des conclusions. L'endettement public diminue mais la contrepartie est une détérioration de la richesse financière et des fonds propres de la banque centrale, même s'il est tenu compte de la rétention des dividendes que la banque centrale pourrait effectuer. Une telle détérioration comporte les mêmes risques qu'une politique de monnaie hélicoptère menée d'une manière permanente. Cette mesure apparaît largement illusoire et est difficile (sinon impossible) à pratiquer dans le cadre européen, même dans le cadre du Green New Deal et d'une BCE plus ouverte sur les questions climatiques. La recapitalisation des fonds propres de la banque centrale serait une autre réponse possible face à la dégradation de sa richesse financière qu'engendrent les politiques non conventionnelles. Cette recapitalisation serait aisée et sans coût puisque la banque centrale peut créer sa propre monnaie. Les simulations avec le modèle SFC montrent que les choses sont plus complexes. L'encadré n°3 ci-dessous donne quelques compléments sur les résultats obtenus. Les actions nouvelles émises par la banque centrale peuvent être achetées par le gouvernement grâce à de la monnaie hélicoptère alimentant le compte du Trésor à la banque centrale. Rien ne change au niveau de l'économie réelle. Contrairement à l'objectif recherché, les fonds propres de la banque centrale demeurent inchangés car, si les actions émises augmentent, la richesse financière diminue. Au niveau du secteur public dans son ensemble (gouvernement et banque centrale) la richesse financière est invariante car la hausse de



celle du gouvernement est compensée par la baisse de celle de la banque centrale. Enfin les réserves bancaires auprès de la banque centrale (interprétables comme une dette vis-à-vis des banques commerciales, et susceptibles d'être à l'origine de mouvements sur les marchés financiers) augmentent. La recapitalisation de la banque centrale ne se fait pas par un « simple clic », comme cela est parfois dit.

Encadré n°3

### La recapitalisation des fonds propres de la banque centrale

La recapitalisation de la banque centrale peut être décrite avec le modèle SFC en procédant en trois étapes. Dans une première étape, la monnaie hélicoptère est distribuée au gouvernement qui voit son compte auprès de la banque centrale crédité d'un montant de 125 milliards d'euros (à titre d'illustration, environ 5 % du PIB). Dans une deuxième étape, ce montant est transféré sur un compte bancaire du gouvernement. Dans une troisième étape, le gouvernement achète de nouvelles actions émises par la banque centrale pour un montant équivalent (5 % du PIB). Le tableau ci-dessous retrace les modifications apportées aux comptes de la banque centrale, du gouvernement et des banques.

Tableau  
**Modification des bilans après une recapitalisation de la banque centrale**

	Banque centrale		Banques		Gouvernement	
Réserves bancaires		$RES\ 125$	$RES\ 125$			
Compte du gouvernement auprès de la BC		$D_L^{CBG}\ 0$			$D_A^{CBG}\ 0$	
Dépôts	$D_A^{CB}\ 125$			$D_L\ 125$		
Actions		$pE_L^{CB}\ 125$			$pE_A^G\ 125$	
Richesse nette		$W^{CB}\ -125$		$W^B\ 0$		$W^G\ +125$

Source : Mazier et Reyes [2022b].

Au total, si les mesures non conventionnelles permettent de faire face à un choc ponctuel sans créer de tensions particulières, elles ne semblent pas pouvoir accroître les marges de manœuvre des finances publiques d'une manière durable et financer à moindre coût des importants investissements nécessaires à la transition climatique. Il n'y a pas de miracle à attendre et le recours à l'endettement public semble inéluctable et, au demeurant justifié, compte tenu des enjeux et de la nature des investissements. Les modèles SFC, incorporant d'une manière détaillée la transition climatique, permettent d'apporter un éclairage complémentaire.

## **Modèles SFC et changement climatique : un éclairage complémentaire**

Les modèles SFC intégrant le changement climatique ont connu un essor important. Cette intégration se fait selon deux approches. La première cherche à reproduire au niveau mondial la dynamique climatique et son articulation avec les dynamiques réelle et financière ; la seconde se concentre sur des économies nationales qui subissent et cherchent à maîtriser le changement climatique.

Dans le premier groupe, celui où l'économie mondiale est modélisée dans son ensemble, deux modèles ont constitué une référence. Celui de Bovari *et al.* [2018] combine un modèle SFC d'offre et un bloc de changement climatique décrivant une hausse des températures liée aux émissions de CO<sub>2</sub> induites par la croissance et des effets de dommages qui rétroagissent sur la production, la productivité et le capital. Le bloc climatique repose sur les travaux fondateurs de Nordhaus [1994] et le modèle DICE (Dynamic Integrated model of Climate and

the Economy). Les possibilités de crise financière liée au ralentissement de la croissance et engendrée par le changement climatique, sont analysées. La principale faiblesse du modèle de Bovari *et al.* est le bloc réel d'offre, inspiré du modèle de Keen [1995]. Ce modèle de Keen est faussement dérivé de celui de Goodwin [1967], également un modèle d'offre mais qui perd sa cohérence lorsque l'on y introduit une fonction d'investissement comme le font Keen et Bovari *et al.* La consommation des ménages devient une simple variable résiduelle qui sert d'ajustement, alors que dans le modèle de Goodwin, la consommation est égale aux salaires et les investissements aux profits. Le modèle de Keen n'a guère de sens, ni les modèles dérivés de cette approche.

L'autre modèle, celui de Dafermos *et al.* [2017], est plus satisfaisant. Il modélise en détail le changement climatique avec une matrice des flux physiques dans la lignée de Georgescu-Roegen et une matrice stock-flux physiques qui prolonge la précédente. Ce bloc environnemental est articulé avec un modèle SFC de demande traditionnel mais qui intègre des contraintes d'offre avec des fonctions à facteurs complémentaires reliées à l'écosystème précédent. Une distinction est introduite entre investissement vert et investissement conventionnel, crédit vert et crédit conventionnel. Les effets-dommages du changement climatique affectent à la fois les éléments de la demande et de l'offre et entraînent un retournement à long terme de la croissance mais aussi des adaptations qui cherchent à limiter les dommages. Ce modèle permet d'étudier les effets positifs d'une politique verte : un moindre rationnement du crédit et une baisse des taux d'intérêt pour les investissements verts, combinés avec des mesures inverses pour les investissements conventionnels, entraînent une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et une moindre hausse de la température, tout en préservant la croissance. Des versions plus élaborées (Dafermos *et al.* [2018 ; 2021]) élargissent les mécanismes pris en compte. La première, incluant des obligations vertes et conventionnelles émises par les firmes, montre l'efficacité d'un Quantitative Easing (QE) vert caractérisé par un rachat permanent par la banque centrale d'une frac-

tion des obligations vertes émises. Ce QE vert fait baisser les taux des obligations vertes et stimule l'investissement vert. La seconde version décrit plus en détail les secteurs concernés ainsi que les mécanismes de rationnement du crédit et de formation de spread de taux d'intérêt en fonction du ratio de capital des banques et des différences de risque selon la nature des investissements. Le cheminement de référence met en évidence la montée des risques financiers liés au changement climatique, rendant nécessaire un sauvetage du secteur bancaire mais au prix d'un endettement public croissant. La mise en œuvre d'une politique sélective pénalisant les investissements conventionnels et favorisant les investissements verts à travers les ratios de capital, requis pour les banques, améliore les conditions de la transition climatique en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> et la hausse de la température. Les effets apparaissent toutefois limités. Une combinaison avec une politique fiscale verte alliant une taxe carbone et une redistribution des recettes de la taxe carbone sous forme de subventions vertes apparaît utile, sinon nécessaire. En ce sens, il est possible de parler de « policy mix vert » où la politique monétaire et la politique fiscale auraient une dimension verte.

Les mécanismes décrits éclairent bien les enjeux et les politiques à mettre en œuvre dans la transition climatique. Des travaux complémentaires sont en cours pour prendre en compte des domaines non traités jusqu'ici, comme le logement, ou pour revenir sur l'hypothèse de prix constants. Ces modèles souffrent cependant du niveau global auquel ils se situent, l'économie mondiale ou un espace plus réduit comme l'Europe, mais considéré d'une manière isolée sans interaction avec le Reste du Monde. Cela paraît trop réducteur, compte tenu de l'hétérogénéité de l'économie mondiale, et rend le calibrage plus incertain. Ce point est illustré par la contribution de Carnevali *et al.* [2020] qui reprend les grandes lignes du modèle précédent en l'étendant à deux pays, un vert et un brun, qui diffèrent par l'inégale diffusion des technologies vertes et interagissent aux niveaux commercial et financier en régime de changes fixes ou flottants. Les résultats des politiques mises en œuvre apparaissent

très sensibles à la nature du régime de changes. Des changes flottants peuvent renverser les résultats initialement obtenus dans le pays vert en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, en raison d'une dépréciation de la monnaie du pays brun qui voit sa croissance relancée sur une période suffisamment longue pour entraîner aussi celle des émissions de CO<sub>2</sub>.

Au niveau des économies nationales, plusieurs modèles SFC écologiques ont été élaborés. Celui de Jackson et Victor [2020], construit pour l'économie canadienne, est une bonne référence. Le bloc SFC réel est traditionnel dans sa structure avec un partage entre secteur marchand et non marchand et une production maximale déterminée à partir d'un trend de productivité. Une distinction est introduite entre investissement conventionnel et investissement vert étudié plus en détail selon qu'il est productif ou non productif et crée ou non des capacités additionnelles. L'impact des investissements verts est détaillé (électrification, décarbonation des secteurs électrique et non électrique) avec estimation des émissions de CO<sub>2</sub>. Trois scénarios sont établis sur la période 2017-2067 : le cheminement de référence correspondant au « business as usual » sans nouvelle politique ; un scénario de réduction des émissions basé sur une hausse du prix du carbone, un développement de l'électrification dans les transports et des formes renouvelables d'électricité ; un scénario de prospérité soutenable reposant sur une transition plus rapide avec une dépréciation accélérée des produits bruns au profit des investissements verts, un arrêt de l'installation de sources d'énergie non renouvelable dès 2025 pour limiter les actifs échoués, des transferts sociaux pour réduire les inégalités et une baisse de la durée du travail pour réduire le chômage. Ces scénarios livrent plusieurs enseignements. Une économie verte croît moins vite qu'une économie brune, surtout dans le cas de la transition rapide, ceci en raison de la baisse des investissements bruns qui limite la croissance des capacités de production et des coûts croissants liés à la décarbonation. Ce résultat est cependant dépendant du contenu de l'investissement vert, de son caractère productif ou non productif, additionnel ou non additionnel par rapport aux capacités de production tradition-

nelles. Cela peut conduire à nuancer les conclusions. Quoi qu'il en soit, cette moindre croissance est compensée par les avantages procurés par la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. La modélisation SFC garantit la cohérence financière des différents scénarios. Le ratio de dette publique est stable ou augmente d'une manière modérée dans le cas de la transition rapide (de 55 % à 80 % du PIB). Cette hausse est liée à la plus faible croissance du PIB et à l'érosion des recettes de la taxe carbone avec la baisse des émissions. La possibilité de recourir à une forme de monnaie hélicoptère pour financer la transition est mentionnée, sans être approfondie à ce stade (notamment au niveau de la richesse financière de la banque centrale).

Ce modèle est représentatif des potentialités et des limites de ce type d'approche. Tout en restant à un niveau agrégé, les effets de la transition climatique sur l'économie canadienne sont bien explorés. Certains points appellent des éclaircissements ou des approfondissements, comme les déterminants de la contrainte d'offre globale et de la formation des prix ou les ressorts de la stabilité financière des ménages et des banques. Plus fondamentalement, les scénarios semblent construits avec un Reste du Monde inchangé, apparemment insensible aux formes que peut prendre le changement climatique. C'est une difficulté que l'on retrouve dans les modèles nationaux de transition climatique. Par ailleurs, il n'y a pas de retour des effets de la dégradation de l'environnement et du réchauffement climatique sur l'économie canadienne à travers des fonctions de dommage.

Un autre exemple est fourni par une analyse macroéconomique du changement climatique au Vietnam, s'appuyant sur un modèle SFC de l'économie vietnamienne (Espagne et Nguyen [2022]). Une synthèse des études de l'impact du changement climatique (en pratique des hausses de température attendues) sur l'agriculture, l'énergie, la productivité du travail, la productivité globale des facteurs et la mortalité est d'abord faite en s'appuyant sur des méta-analyses. Elle débouche sur une estimation des dommages directs agrégés par domaine qui sont ensuite intégrés dans les équations du modèle déterminant la

production agricole, l'énergie, la consommation des ménages, l'emploi, la population et la productivité globale. Il en résulte une estimation des pertes de PIB à horizon de 2050 avec une contribution des différents facteurs. Une stratégie d'adaptation est ensuite analysée avec la définition d'investissements d'adaptation pour les entreprises, les ménages et le gouvernement, en fonction des dommages attendus. De nouvelles simulations permettent de comparer les pertes de PIB en fonction des hausses de température avec ou sans adaptation. Les hausses de dette publique ou de besoins de financement du secteur privé sont également obtenues. Plus la hausse des températures est élevée, moins les mesures d'adaptation apparaissent efficaces.

Ces évaluations globales des coûts du changement climatique au Vietnam reposent sur une approche pragmatique pouvant intégrer d'autres études d'impact en amont lorsqu'elles seront disponibles. Les enchaînements, réchauffement climatique - dommages - pertes - adaptation, sont bien décrits mais une plus grande désagrégation sectorielle du modèle serait nécessaire pour permettre une meilleure insertion de ces enchaînements. Le cadre SFC permet d'apprécier les enjeux financiers, notamment en termes de hausse de la dette publique, avec un éclairage des risques qui sont un enjeu important pour une économie très ouverte et de plus en plus intégrée financièrement. Cette question devrait être approfondie pour mieux tirer parti de la dimension financière du modèle. L'articulation offre-demande serait aussi à préciser avec une croissance globale tirée par la demande et des contraintes d'offre ayant une importante dimension sectorielle (agriculture, énergie). On retrouve la nécessité d'une plus grande désagrégation sectorielle. Enfin, les effets des dommages liés au réchauffement climatique, comme les effets des investissements d'adaptation, sur le cheminement de référence 2020-2050 sont obtenus avec un Reste du Monde inchangé, ce qui est peu plausible.

Encadré n°4

**Le modèle SFC Vietnam et l'impact macroéconomique du changement climatique**

Le modèle SFC Vietnam (Espagne et Nguyen [2022]) est un modèle agrégé à un produit tiré par la demande avec un bloc monétaire et financier complet qui est important en raison de l'ouverture financière du Vietnam. Les firmes investissent, s'endettent en dong et en dollars, émettent des actions et équilibrent leur compte grâce aux investissements étrangers. Les ménages consomment et investissent, détiennent des actifs et équilibrent leur compte grâce aux dépôts. Les banques rationnent le crédit aux entreprises et aux ménages et se refinancent auprès de la banque centrale qui intervient au niveau des réserves internationales pour gérer le taux de change. L'équilibre de la banque centrale est l'équation manquante du modèle. Son taux de refinancement sert de taux directeur aux autres taux d'intérêt et dépend du taux d'inflation, des taux d'intérêt étrangers et du taux de change. Le gouvernement consomme, investit et finance son déficit en émettant des obligations et en s'endettant à l'étranger. Les exportations et importations, outre les effets prix et revenus, incorporent un effet des investissements étrangers. Le Reste du Monde accorde tous les prêts étrangers demandés par les agents domestiques. Le taux de change dépend du différentiel d'intérêt corrigé du taux de change et des entrées nettes de devises. Le taux de croissance du prix du PIB dépend des coûts salariaux, des prix des produits importés et d'un effet de demande à travers le taux d'utilisation des capacités de production. Une fonction de production simple de type Cobb-Douglas permet d'appréhender cet effet capacité qui joue également dans la détermination du taux d'accumulation des firmes. Le salaire par tête dépend des prix à la consommation, du taux de chômage et de l'évolution de la productivité du travail. L'emploi dépend du niveau d'activité. Le modèle est estimé sur la période 1995-2019 avec des méthodes simples (modèles à correction d'erreur et MCO). Des simulations sur le passé et un ensemble de multiplicateurs donnent des résultats acceptables.

L'impact macroéconomique du changement climatique est étudié en plusieurs étapes. Un bilan est d'abord dressé sur l'évolution passée et future à horizon de 2099 du climat au Vietnam : température, pluies, niveau des mers, événements extrêmes (cyclones). Pour chaque domaine susceptible d'être affecté par le changement climatique (agriculture, énergie, productivité, mortalité) et d'être intégré



dans le modèle, une méta-analyse est réalisée pour estimer la variation moyenne attendue d'indicateurs associés à chaque domaine en fonction des changements de températures à horizon de 2099 (rendement du riz, production hydroélectrique, nombre d'heures de travail perdues, productivité globale, mortalité). Par agrégation, une estimation des dommages directs agrégés, en % du PIB, peut être calculée. Les fonctions dommage sont introduites dans le modèle pour chaque variable concernée. À titre d'exemples pour l'agriculture et l'énergie :

$$\begin{aligned}
 Q_{At}^* &= (1 + D_{AGRt} Y_{rice}) Q_{At} \\
 D_{AGRt} &= v_{AGR} \Delta T \\
 Q_{Et}^* &= (1 + D_{Et} Y_{HP}) Q_{Et} \\
 D_{Et} &= v_{HP} \Delta T + v_{HP}^2 \Delta T^2 \\
 C_t^* &= (1 + D_{REt} Y_{RE}) C_t \\
 D_{REt} &= v_{RE} \Delta T
 \end{aligned}$$

$Q_{At}$  = production agricole du baseline,  $D_{AGRt}$  = perte de production agricole due au changement climatique,  $\Delta T$  = variation de température par rapport à la période de référence 1980-2019,  $Y_{rice}$  = part du riz dans la production agricole,  $Q_{Et}$  = production d'énergie du baseline,  $Y_{HP}$  = part de la production hydroélectrique,  $D_{Et}$  = perte de production hydroélectrique,  $Y_{RE}$  = part de la consommation électrique dans la consommation totale,  $D_{REt}$  = impact du climat sur la consommation électrique.

Les effets du changement climatique sont simulés sur la période 2020-2050 en introduisant simultanément dans le modèle tous les effets-dommages selon différentes hypothèses de hausse de température. La perte de PIB (en % du cheminement de référence) est d'environ -12 % en 2050. Cet impact est supérieur d'environ 30 % aux seuls effets directs. Ces estimations peuvent être enrichies au fur et à mesure que des estimations des effets-dommages seront disponibles pour d'autres domaines. La stratégie d'adaptation au changement climatique est enfin étudiée en introduisant des investissements d'adaptation propres aux différents agents. Ainsi l'investissement d'adaptation des firmes  $i_f^A$  dépend d'un arbitrage entre les profits perdus du fait de cet investissement et les gains attendus de la réduction des effets-dommages.

$$i_f^A = \alpha_1 (1 - p) GD_f^e + (1 - \alpha_1) (k_{f,t-1}^A / k_{t-1}) (F_{t-1}^f / k_{t-2})$$

$$p = (1 - Y_T \Delta T) / (1 + e^{-kt-1A})$$

avec  $\alpha_1$  = paramètre de préférence,  $GD_f^e$  = dommage brut attendu,  $p$  = fonction de protection qui est une fonction décroissante de la hausse des températures  $\Delta T$ .

Les mesures d'adaptation sont supposées se traduire par une moindre propension à importer avec un effet de substitution en faveur de produits verts fabriqués localement. L'introduction d'investissements d'adaptation dans les simulations réduit les pertes par rapport au scénario sans adaptation (de l'ordre de -2 % du PIB pour une hausse de température limitée à 2°C). Mais cette réduction des pertes est plus limitée en cas de plus forte hausse des températures.

## La portée d'un policy mix vert

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de ce rapide bilan de l'utilisation des modèles SFC. Les politiques monétaires non conventionnelles, monnaie hélicoptère, financement d'investissement public par endettement, puis rachat de titres publics par la banque centrale, annulation d'une partie de la dette publique qu'elle détient, recapitalisation de ses fonds propres par émission de sa propre monnaie, peuvent être mis en œuvre d'une manière ponctuelle sans créer de tensions particulières, l'annulation de la dette publique apparaissant néanmoins plus problématique. Mais ces mesures ne peuvent accroître les marges de manœuvre des finances publiques d'une manière durable, et permettre un financement à un moindre coût des importants investissements

face à la transition climatique. Ceci, en raison de la dégradation de la richesse financière de la banque centrale et du gonflement des réserves bancaires qu'elles entraînent. Il n'y a pas de miracle à attendre et le recours à l'endettement public paraît inéluctable.

Les modèles SFC écologiques montrent les effets positifs d'une politique monétaire verte en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, qu'il s'agisse d'un QE vert en faveur des obligations vertes ou d'une politique sélective du crédit, au détriment des investissements conventionnels et en faveur des investissements verts. Ces effets positifs apparaissent toutefois assez limités, ce qui plaide pour une politique budgétaire complémentaire. Cette politique pourrait passer soit par des mesures fiscales (taxe carbone combinée avec des mesures de redistribution, aides à la rénovation ou aux énergies renouvelables), soit par des dépenses plus actives (dépenses d'isolation des bâtiments publics). La combinaison de ces deux volets permet de parler de policy mix vert. Ces conclusions sont obtenues au niveau mondial, ce qui n'a qu'une signification limitée compte tenu de l'hétérogénéité de la zone. Des modèles à deux ou plusieurs zones seraient nécessaires. Les modèles SFC écologiques nationaux permettent, quant à eux, d'analyser les effets d'adaptation face au changement climatique et les risques financiers susceptibles d'apparaître. Le fait que l'impact du changement climatique sur le Reste du Monde ne soit pas pris en compte constitue cependant une sérieuse limite.

Les gros modèles multinationaux environnementaux de l'OCDE (ENV-Linkages) ou du FMI (G-Cubed, puis GMMET) ont l'avantage de retenir un découpage de l'économie mondiale en un grand nombre de régions (12 dans ENV) et de secteurs (25 dans ENV). Cela autorise une analyse détaillée des modalités de la transition climatique prenant en compte les disparités régionales. Ces modèles dynamiques d'équilibre général ne sont cependant pas sans défaut. Le modèle de l'OCDE (Burniaux et Chateau [2010]) est un modèle d'offre pur, sans analyse du comportement des firmes, avec un investissement déterminé par l'épargne (en pratique, par la seule épargne des ménages en raison des simplifications apportées).

Les ajustements ne passent que par les prix relatifs. Le déficit public est exogène avec une endogénéisation de la fiscalité pour atteindre l'objectif fixé et une absence de prise en compte des contraintes financières. Les projections du FMI se font sans modélisation des échanges internationaux des produits autres que le pétrole (McKibbin et Wilcoxon [2013], annexe 3.5, p. 33 et IMF [2020]). Cela est surprenant pour un modèle multinational qui semble fonctionner, dans cette version, comme une juxtaposition de blocs nationaux sans interaction autre qu'à travers le pétrole. Le modèle GMMET (Global Macroeconomic Model for the Energy Transition) est, de ce point de vue, plus satisfaisant (IMF [2022] annexe chap. 3). Plus compact, avec seulement quatre régions (États-Unis, zone euro, Chine et Reste du Monde), c'est un modèle de court-moyen terme avec des secteurs énergétiques traités d'une manière détaillée, mais qui ne prend pas en compte les effets des dégâts environnementaux sur la productivité. Les firmes ont un comportement d'investissement avec un effet d'accélérateur financier. Une boucle prix-salaires est intégrée au modèle. L'hypothèse de neutralité budgétaire est retenue (les hausses de taxe carbone financent les politiques mises en œuvre). Elle interdit le recours à l'endettement public pour financer la transition. Cela limite l'exploration du champ des possibles. Plus généralement les flux financiers qui, à travers les actifs étrangers nets, contribuent à déterminer les taux de change réels et les taux d'intérêt réels sont traités d'une manière simplifiée. Dans l'ensemble, la modélisation multinationale environnementale apparaît comme un chantier en cours.

*Jacques Mazier remercie le support de la Chaire Énergie et prospérité sous l'égide de La Fondation du Risque. Il remercie aussi Dominique Plibon, Esther Jeffers et Chicot Eboué pour leurs remarques.*

*Luis Reyes remercie le support de la Chaire LCL Finance d'Impact.*

*Jacques Mazier est professeur émérite au CNRS-CEPN, université Sorbonne Paris Nord et chaire Énergie et prospérité.*

*Email : mazier@univ.paris13.fr.*

*Luis Reyes est assistant professeur de finance à la Kedge Business School et chaire LCL Finance d'impact.*

*Email : luis.reyes.rtz@gmail.com.*

# Références

- E. Bovari, G. Giraud et F. Mc Isaac [2018] : *Coping with Collapse: A Stock Flow Consistent Monetary Macrodynamics of Global Warming*, **Ecological Economics**, 147, pp. 383-398.
- M. Brylalsen, H. Raza et F. Olesen [2022] : **Macroeconomic Modelling, Economic Policy and Methodology: Economics at the Edge**, Routledge.
- S. Burgess, O. Burrows, A. Godin, S. insella et S. Millard [2016] : **A Dynamic Model of Financial Balances in the UK**, **Staff**, working paper n°614, septembre, Bank of England.
- J. M. Burniaux et J. Chateau [2010] : *An Overview of the OECD ENV-Linkages Model*, Background report, mai, OCDE.
- E. Carnevali, M. Deleidi, R. Pariboni et M. V. Passarella [2020] : *Cross-Border Financial Flows and Global Warming in a Two-Area Ecological SFC Model*, **Socio Economic Planning Sciences**.
- J. Couppey-Soubeyran [2020] : *La monnaie hélicoptère contre la dépression dans le sillage de la crise sanitaire*, Institut Veblen, avril.
- F. Cripps [2014] : *Macro-Model Scenarios and implications for European policy?, in Challenges for Europe in the world 2030*, J. Eatwell, T. McKinley et P. Petit éd., Ashgate.
- Y. Dafermos, M. Nikolaidi et G. Galanis [2017] : *A Stock Flow Fund Ecological Macroeconomic Model*, **Ecological Economics**, 131, pp. 191-207.
- Y. Dafermos, M. Nikolaidi et G. Galanis [2018] : *Climate Change, Financial Stability and Monetary Policy*, **Ecological Economics**, 152, pp. 219-234.
- Y. Dafermos et M. Nikolaidi [2021] : *How Can Green Differentiated Capital Requirements Affect Climate Risks?*, FMM working paper n°63, avril.
- V. Duwicquet et J. Mazier [2010] : *Financial Integration and Macroeconomic Adjustments in a Monetary Union*, **Journal of Post-Keynesian Economics**, 33(2), pp. 331-368.
- E. Espagne et T. H. Nguyen [2022] : *Macroeconomic Impacts of Climate Change, the Case of Vietnam: A COP27 Assessment Report of the GEMMES Vietnam Project*, Agence française de développement.
- Fonds monétaire international [2020] : *Mitigating Climate Change, Growth And Distribution Friendly Strategies*, annexe 3.5 : Climate change mitigation and the direction of technical change in **Word Economic Outlook**, octobre.
- Fonds monétaire international [2022] : *Near Term Macroeconomic Impact of Decarbonisation Policies*, chap. 3 et annexe chap. 3 in **Word Economic Outlook**, octobre.
- W. Godley [1999] : *Seven Unsustainable Processes: Medium Term Prospects and Policies for the USA and the World Economy*, The Levy Economics Institute of the Bard College.
- W. Godley et F. Cripps [1983] : **Macroeconomics**, Oxford University Press.
- W. Godley et M. Lavoie [2003] : *Two Country Stock Flow Consistent*

*Macroeconomics Using a Closed Model within a Dollar Exchange Rate Regime*, Cambridge Endowment for Research in Finance, working paper n°10, University of Cambridge.

W. Godley et M. Lavoie [2007a]: *A Simple Model of Three Economies with Two Currencies : The Euro Zone and the USA*, **Cambridge Journal of Economics**, January, 31 (1), pp 1-24.

W. Godley et M. Lavoie [2007b] : **Monetary Economics**, Palgrave MacMillan.

W. Godley, D. Papadimitriou, C. H. Dos Santos et G. Zezza [2005] : *The US and the Creditors: can the Symbiosis Last? Strategic Analysis*, The Levy Economics Institute of the Bard College.

Institut Rousseau [2022] : *2 % pour 2°C, les investissements publics et privés nécessaires pour atteindre la neutralité carbone de la France en 2050*, mars, (<http://institut-rousseau.fr/2-for-2-summary/>).

T. Jackson et P. Victor [2020] : *The Transition to a Sustainable Prosperity: A SFC Ecological Macroeconomic Model*, **Ecological Economics**, 177.

S. Keen [1995] : *Finance and Economic Breakdown: Modelling Minsky's Financial Instability Hypothesis*, **Journal of Post-Keynesian Economics**, vol 17, n°4, pp. 607-635.

S. Kelton [2020] : **The Deficit Myth: Modern Monetary Theory and how to Build a Better Economy**, John Murray.

M. Lavoie et W. Godley [2001] : *Kaleckian Growth Model Models in a Stock and Flow Monetary Framework: A Kaldorian View*, **Journal of Post-Keynesian Economics**, 24 (2) Winter, pp 277-312.

E. Le Heron et T. Mouakil [2008] : *A Post-Keynesian Stock Flow Consistent Model for the Dynamic Analysis of Monetary*

*Policy Shocks on Banking Behaviour*, **Metroeconomica**, 59(3), pp. 405-440.

J. Mazier [2020] : **Global Imbalances and Financial Capitalism: Stock Flow Consistent Modelling**, Routledge.

J. Mazier et L. Reyes [2022a] : *A Stock Flow Consistent Model for the French Economy*, in Bryjalsen et al. [2022].

J. Mazier et L. Reyes [2022b] : *Unconventional Monetary Policy in an Econometric SFC Model of the French Economy: Some Lessons for Financing the Low-Carbon Transition*, **Economie appliquée**, 2 n°4, pp. 41-77.

J. Mazier et S. Valdecantos [2019] : *From the European Monetary Union to Euro-Bancor; A SFC Assesment*, **European Journal of Economics and Economic Policies: Intervention**, février.

W. McKibbin et P. Wilcoxon [2013] : *A Global Approach to Energy and the Environment: The G-Cubed Model*, in **Handbook of Computable General Equilibrium Modelling**, pp. 995-1068, North Holland Elsevier.

W. Nordhaus [1994] : **Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change**, MIT Press.

M. Obstfeld et K. Rogoff [2005] : *Global Current Account Imbalance and Exchange Rate Adjustment*, **Brookings Paper on Economic Activity** n°1.

L. Scialom et B. Bridonneau [2020] : *Crise économique et crise écologique : osons des décisions de rupture*, **Terra Nova**, avril.

J. Tobin [1969] : *A General Equilibrium Approach to Monetary Theory*, **Journal of Money, Credit and Banking**, vol.1(1), février, pp. 15-29.

J. Tobin [1982] : *Money and Finance in the Macroeconomic Process*, **Journal of Money, Credit and Banking**, 14(2) mai, pp. 171-204.

S. Valdecantos et G. Zezza [2015] : *Reforming the International Monetary System: A SFC Approach*, **Journal of Post-Keynesian Economics**, 38 (2), pp. 167-191.

S. Wren-Lewis [2018] : *Ending the Microfoundations Hegemony*, **Oxford Review of Economic Policy**, Rebuilding Macroeconomic Theory, vol 34, n°1-2, printemps, été.