

Modélisation Stock Flux Cohérente (SFC) et changement climatique : Apports de modèles récents

Session du 29 mars 2023

Le séminaire a été animé par Jacques Mazier et Dominique Plihon (Centre d'Économie de Paris Nord, Chaire Énergie et Prospérité).

Mot de présentation :

Ce séminaire vise à analyser l'apport de trois modèles SFC à l'étude du changement climatique. Certains introduisent des diversifications dans les structures de consommation (Monserand, 2022), d'autres, mettent davantage l'accent sur les aspects financiers associés à la transition écologique tels que les enjeux d'instabilité financière (Daumas, 2022) et les politiques financières alternatives (Lagoarde-Segot, 2022).

Trois présentations et discussions successives ont ainsi ponctué ce séminaire :

- **Antoine Monserand** (ADEME), « Green public investment, consumption and the ecological transition: a macroeconomic analysis » (2022)
 - Discutant **Mickael Clévenot** (université de Dijon, CEPN)
- **Louis Daumas** (CIRED), « Transition risks, asset stranding and financial instability » (2022)
 - Discutant **Edwin Le Heron** (Sciences Po Bordeaux)
- **Thomas Lagoarde-Segot** (Kedge Business School), « Les nouveaux sentiers macroéconomiques de la bifurcation écologique : un point d'étape sur le chantier Philia1.0 »
 - Discutant **Luis Reyés** (Kedge Business School)

1. Antoine Monserand (ADEME)

Cet article, co-écrit avec Maria Nikolaidi et Yannis Dafermos, traite de l'articulation entre les investissements publics et les modes de consommation dans un cadre de transition écologique. Il repose sur deux littératures disjointes relatives d'une part, aux besoins d'investissements publics dans une perspective de green new deal, à la post-croissance et aux changements de modes de consommation basés sur des scénarios prospectifs d'autre part. Cet article réunit ces deux aspects dans le cadre d'un modèle SFC, calibré sur des données européennes, pour en étudier les dynamiques macroéconomiques et les interactions. En particulier, il distingue différents types d'investissements publics selon leurs effets sur les modes de consommation, sur l'activité macroéconomique et sur la décarbonation de l'économie.

Présentation du modèle

Le modèle est caractérisé par :

- Un secteur de production fournisseur de biens d'équipement ou d'investissement (secteur 2), et un secteur fournisseur de biens de consommation standards (secteur 1).
- Des ménages désagrégés et répartis entre ceux travaillant dans le secteur 1, dans le secteur 2 et les ménages au chômage.
- Un secteur public consolidé rassemblant la banque centrale et le gouvernement.
- Dès lors qu'un secteur investit, qu'il s'agisse du secteur 1, du secteur 2, ou du secteur public, le secteur 2 fournit le bien d'investissement.

Parmi les investissements publics, les auteurs distinguent :

- Les investissements de type 1. Il s'agit d'investissements qui se font en supplément des investissements du scénario de référence et qui permettent des changements de mode de consommation. En particulier, ils permettent aux ménages de réduire leur consommation de biens à forte intensité carbone (bien 2). Il peut notamment s'agir d'infrastructures de transports, bus électriques, pistes cyclables.
- Les investissements de type 2. Il s'agit d'investissements qui viennent en remplacement des investissements conventionnels. Il peut notamment s'agir d'investissements dans les énergies renouvelables ou en efficacité énergétique.

Les fonctions de consommation sont caractérisées de la manière suivante :

- Le bien 1 et le bien 2 sont consommés par les ménages.
- Les ménages consomment une quantité fixe de bien 2 déterminée par le système sociotechnique et les normes de consommation. Cette consommation contrainte de bien d'équipement peut évoluer au gré des valeurs d'un paramètre sigma qui dépend :
 - D'un indice de sobriété.
 - D'un sigma potentiel relié à l'environnement en termes d'infrastructures résumé à travers le ratio du stock de capital public vert au stock de capital public total.
- Une fois le bien 2 consommé, la fonction de consommation en bien 1 d'un ménage dépend de son revenu disponible effectif et de son stock de richesse.

L'introduction de chocs d'investissement public et de sobriété

Les auteurs considèrent deux types de chocs : des chocs d'investissement public d'une part, des chocs d'investissement public et de sobriété combinés d'autre part.

Chocs d'investissement public

Dans le cas où l'investissement public de type 1 augmente :

- La demande de bien d'investissement et la production de bien 2 augmentent. Toutes choses égales par ailleurs, cela stimule la croissance et fait augmenter les émissions de GES.
- En parallèle, le renforcement du stock de capital public vert de type 1 permet aux ménages de réduire leur consommation en bien d'équipement : la consommation de bien 2 diminue. La baisse de cette consommation contrainte libère du pouvoir d'achat et permet aux ménages de consommer davantage de bien 1 (effet de substitution).
- L'effet net sur les émissions est négatif : l'intensité carbone du bien 1 est plus faible que l'intensité carbone du bien d'équipement.
- L'investissement de type 1 se faisant en supplément des investissements du scénario de référence, cela donne lieu à une augmentation du besoin de financement et donc de la dette publique.
- En termes d'inégalités, la consommation contrainte de bien 2 représentait une plus large part des dépenses des ménages au chômage. La baisse de cette consommation leur profite ainsi davantage.

Chocs d'investissement public et de sobriété

Les auteurs étudient trois scénarios : le premier considère uniquement les investissements publics de type 1 et 2, le deuxième se concentre sur la sobriété, le troisième combine les deux. Il en ressort que :

- La réduction de la consommation de bien d'équipement est bien plus importante dans le scénario de combinaison d'investissements publics et de sobriété que dans les deux autres scénarios. L'investissement seul, sans comportement de sobriété, ne suffit pas pour atteindre le plein potentiel de sobriété et inversement. C'est la combinaison des deux éléments qui le permet.
- Le secteur 2 joue un rôle particulier dans ce modèle. S'il est stimulé par la demande de bien d'investissement, la réduction de la consommation permise par le processus conduit à moins solliciter. L'effet net est plutôt négatif. Le taux de profit du secteur baisse temporairement et retrouve son niveau initial une fois la transition effectuée. Cela provient de l'ajustement du taux d'utilisation : il chute à court terme, puis l'investissement s'ajuste et les capacités de production baissent, permettant au taux de profit de se rétablir.
- Le ratio de dette publique sur PIB augmente davantage dans le scénario où les deux effets sont combinés : la réduction de la consommation et la perte de revenu national y sont plus importantes. Il se restabilise par la suite.
- En termes d'inégalités entre employés et chômeurs, plus les dépenses contraintes sont réduites plus cela bénéficie à ces derniers.

Conclusion

Il s'agit d'un travail théorique d'illustration de mécanismes. En effet, le modèle proposé permet d'illustrer la diversité des investissements publics possibles et leur articulation avec les changements de modes de consommation. Il intègre un bouclage macroéconomique, une dynamique temporelle et tient compte des effets rebond et de substitution.

Discussion du papier : Mickael Clevenot (université de Dijon, CEPN)

- La dimension stock-flux est difficilement perceptible dans le modèle. La modélisation SFC repose habituellement sur la dimension financière qui n'est pas présente dans le papier. Il est regrettable de ne pas avoir intégré de feedback financier. En effet, le secteur financier risque de subir d'importantes pertes (actifs échoués) donnant lieu à un risque d'instabilité financière.

- Le modèle est très optimiste, la combinaison des investissements publics et des changements de modes de consommation permet d'assurer la transition sans que les inégalités et les entreprises ne soient trop affectées. Certes le secteur 2 est légèrement touché mais il retrouve à terme son taux de profit initial. La réduction du temps de travail proposée pour prévenir la hausse du taux de chômage ne semble pas aller dans le sens des évolutions actuelles. Il est peu probable que la transition se passe ainsi.
- Un point clé du papier est de montrer que l'investissement ne permettra pas à lui seul d'assurer la transition, il doit être accompagné de transformations dans les comportements de consommation. Cela étant, la transition va être couteuse et il n'est pas certain que les comportements évoluent dans le bon sens naturellement. Les gains de pouvoir d'achat permis par la réduction des dépenses en bien 2 peuvent aussi être réinvestis dans la consommation de biens polluants (effet rebond lié à la consommation).
- Les conséquences de la transition sur la question sociale sont un élément essentiel. Si leur intégration au modèle est entièrement justifiée, elle complexifie les choses. Les dispositions à prendre pour faire en sorte que les moins bien dotés ne soient pas trop pénalisés par la transition mériteraient un article à part entière.
- Il conviendrait d'ajouter une contrainte d'offre plus importante dans les modèles post-keynésiens où la croissance est tirée par la demande. Nous ne sommes plus dans un monde d'abondance, les ressources sont limitées et il faut le considérer.
- Il faudrait mettre en place des tests de robustesse sur les paramètres pour identifier les seuils au-delà desquels les investissements et les changements de comportements permettent de réduire les émissions de GES. Par ailleurs, la comparaison des paramètres aux faits stylisés permettrait de juger de leur cohérence et de leur logique.

Les échanges qui ont suivi ont permis d'éclairer les points suivants :

- La démarche des auteurs n'était pas d'explorer les scénarios les plus probables mais d'explorer des scénarios optimistes, à rebours de la tendance actuelle.
- L'intégration d'un feedback financier aurait introduit trop de complexité dans le modèle. Les auteurs ont fait le choix de laisser de côté la dimension financière dans la mesure où celle-ci est déjà largement étudiée dans la littérature.
- Les stocks réels, ici les stocks de capital public, exercent une influence sur les flux financiers et les flux réels de consommation.
- Il serait intéressant d'intégrer une contrainte d'offre dans le modèle. Il conviendrait de faire la distinction entre une contrainte auto-imposée (taxation) et une contrainte externe (rareté des matériaux, difficultés d'approvisionnement). Cela n'a pas les mêmes implications en termes d'acceptation par la population.
- L'hypothèse selon laquelle les investissements nécessaires à la transition écologique sont toujours réalisés et toujours financés par la dette est excessivement optimiste. Le modèle n'intègre pas de contrainte budgétaire, ni de questionnement relatif à la soutenabilité de la dette. Or, au cours des dernières années, en dépit de taux d'intérêt très bas, les investissements dans la transition écologique n'ont pas été réalisés. La dette ne semble pas être l'instrument financier approprié pour financer les dépenses nécessaires à la transition écologique, y compris les dépenses d'accompagnement. En effet, l'augmentation continue du stock de dette risque d'accroître la financiarisation et de déboucher sur davantage d'instabilité financière.
- Il n'y a pas de banques dans le modèle. Le mécanisme sous-jacent de création monétaire est celui de la théorie monétaire moderne. Tout le financement vient du déficit public. La fusion du monétaire et du budgétaire facilite la modélisation.
- Ce sont les ménages qui achètent les titres de dette publique, cela a des effets redistributifs. Les auteurs n'ont pas choisi de complexifier le modèle en distinguant les ménages capitalistes des autres.
- Il serait utile de faire ressortir les hypothèses implicites du modèle qui permettent d'atteindre les résultats optimistes présentés et d'en tirer des pistes de régulation.

2. Louis Daumas (CIRED)

L'ambition de cet article est de proposer un modèle qui intègre des trajectoires de décarbonation au sein d'un modèle SFC dans l'objectif de modéliser des dynamiques d'instabilité financière, de changements structurels et d'en tirer des grandes tendances en termes de risques macro-financiers.

Il existe des risques financiers associés à la transition bas-carbone (Mark Carney, 2015). C'est un sujet clé dans la mesure où l'instabilité financière peut être un frein aux dynamiques de transition en termes d'investissement ou encore d'agenda setting pour les politiques. De ce constat a émergé une littérature qui s'appuie sur des scénarios de transition et des approches multi-modèles couplant modèle macro-keynésien, modèle sectoriel et module financier. Cela étant, dans ces approches, le secteur financier n'est pas rattaché à l'économie et la problématique des actifs échoués n'est pas abordée. La réaction de ces modèles repose sur l'existence de très grands chocs macroéconomiques et cela est problématique. Dans le cas des modèles SFC, la thématique des risques de transition reste très peu abordée. Il n'existe pas d'exercice tentant de coupler des trajectoires d'émissions avec un modèle SFC. Cet article tente d'y remédier en répondant aux questions de recherche suivantes :

- Quelles sont les implications de la décarbonation au sein d'un modèle SFC intégrant l'instabilité financière ?
- Dans quelle mesure la décarbonation est-elle réalisable d'un point de vue de la stabilité financière ?

L'auteur tire les conclusions suivantes :

- Les risques de transition sont principalement pertinents pour le secteur non bancaire. Le secteur financier est relativement protégé.
- Les risques de transition vont au-delà de chocs immédiats, l'essentiel des gros risques intervient dans le moyen long terme.
- Les différentes variantes d'un même scénario peuvent mener à des différences parfois non triviales.
- Les principaux moteurs de la décarbonation sont la disponibilité technique (i.e., le niveau de technologie disponible), l'ambition climatique et la temporalité de l'action climatique.

Présentation du modèle

L'auteur considère un modèle SFC d'inspiration post-keynésienne en temps discret. Le modèle est caractérisé par les éléments suivants :

- La transition est modélisée non pas comme une bascule entre un secteur brun (haut carbone) et un secteur vert (bas carbone), mais entre un secteur d'incumbent et un secteur de challenger. Cela permet de représenter le caractère disruptif de la transition : les entreprises brunes vont pouvoir s'adapter au moins partiellement et de nouveaux secteurs vont émerger.
- Sur la base de la littérature, le secteur financier est désagrégé entre secteur bancaire et secteur non bancaire.
- Le modèle se focalise sur les risques de transition. L'approche utilisée est semblable à celle des modèles du GIEC qui font abstraction des dommages climatiques et s'imposent une cible d'émissions cohérente avec une cible de température à horizon 2100. Il y a une forte incertitude sur la forme des fonctions de dommages dans la littérature.
- Le modèle est calibré sur l'année 2019 et est plutôt conforme aux faits stylisés.

Le secteur de production est caractérisé par :

- Une séparation entre la production d'un bien d'investissement d'une part et la production d'un bien de consommation d'autre part. Ce dernier secteur de production détient des dépôts auprès des banques. Challenger et incumbent vendent le même bien au même prix.

- La présence de deux stocks de capital : le capital haut carbone et le capital bas carbone. L'incumbent, possédant initialement la technologie carbonée, investit dans la technologie bas carbone et convertit une partie de son capital en capital décarboné. Il doit toutefois absorber une certaine quantité d'actifs échoués. Le challenger investit dans la technologie bas carbone.
- Une fonction d'investissement qui suit la demande agrégée avec un ajustement partiel pour limiter les oscillations. Le processus de transition passe par la détermination, à chaque pas dans le temps, d'une part de capital bas carbone désirée en $t+1$, et d'une part de capital haut carbone. L'investissement correspondant est ensuite réparti entre incumbent et challenger.
- Un investissement financé par des prêts dans une proportion constante, par des dépôts, des profits non distribués et l'émission d'actions.

Le secteur financier finance les dépenses d'investissement du secteur de production. Il est caractérisé par :

- Une séparation entre :
 - **Un secteur bancaire**, à monnaie endogène, qui octroie des prêts et achète un résidu d'equity. Ce secteur détermine les taux d'intérêt, rationne le crédit et peut expérimenter des situations de défaut sur les prêts accordés.
 - **Un secteur non bancaire** qui achète de l'equity. Il se finance via la vente de parts au sein de fonds de pension et peut également s'endetter auprès du secteur bancaire. Ce secteur détient des dépôts auprès des banques qui constituent une mesure de liquidité permettant d'évaluer sa fragilité financière.
- Les deux secteurs suivent un choix de portefeuille à la Tobin légèrement ajusté. Les actifs échoués sont introduits dans la dynamique de valorisation via l'utilisation d'un Q de Tobin considéré comme indicateur de risque dans les rendements anticipés.
- Il existe un levier intra-financier qui part des banques vers le secteur non bancaire. Cela permet de faire émerger des dynamiques de bulles.

Enfin, le gouvernement prélève des taxes et effectue des transferts. La banque centrale clôt le bilan de l'économie en fournissant des avances aux banques et en achetant le résidu de bons du Trésor non acheté par le secteur financier. Il existe un bloc « déchets » composé des émissions de GES et des actifs échoués de l'incumbent.

Méthodologie

L'auteur se base sur des scénarios de transition du NGFS reposant sur des narratifs de transition ordonnée ou désordonnée. Moins la transition est ordonnée plus les risques de transition sont importants. Le scénario de base est le scénario « current policies ». Les autres scénarios considérés viennent de trois modèles d'évaluation intégrés dont le principal est REMIND-MagPIE. La politique climatique est représentée au moyen de trajectoires d'émissions et d'un prix du carbone exogènes.

L'instabilité financière se matérialise par la perte de parts de marché du secteur incumbent. Cela se traduit par des plus hautes probabilités de défaut et des baisses de prix d'actifs affectant les secteurs bancaire et non bancaire.

Résultats

L'auteur s'intéresse à deux métriques principales que sont le ratio de capital des banques et les dépôts du secteur non bancaire. Les principaux résultats pour le scénario REMIND sont les suivants :

- Le secteur bancaire est relativement peu touché par le processus de transition. Il subit un choc en début de run du fait du lancement du secteur challenger et de la perte de vitesse du secteur incumbent.

- Le secteur non bancaire est davantage fragilisé. Dans le pire des scénarios sa liquidité devient très faible, avec une forte fragilité en fin de run. En effet, pendant cette période, les actifs du secteur incumbent perdent de la valeur, les dividendes diminuent. En parallèle, le secteur challenger, forcé de se développer rapidement, verse peu de dividendes. Par conséquent, le secteur non bancaire absorbe beaucoup de pertes et perd en liquidité.

Conclusion

D'un scénario à l'autre, les résultats peuvent varier de manière assez significative. Le modèle présente plusieurs limites, entre autres : une exposition homogène des agents financiers, l'absence d'anticipations forward looking.

Discussion du papier : Edwin Le Heron (Sciences Po Bordeaux)

Concernant la sphère réelle :

- L'absence de capital dans le secteur producteur de biens d'investissement est étonnante.
- Il serait intéressant d'introduire une séparation au sein des biens de consommation entre consommation carbonée et consommation décarbonée. Cela permettrait d'avoir des trajectoires de transition liées à des logiques de consommation.
- Dans le modèle, l'intensité capitaliste est constante. Or, en principe la transition devrait faire monter l'intensité capitaliste et baisser le taux de productivité.

Concernant la sphère financière :

- L'organisation du système financier est très américaine avec des banques très peu preneuses de risques d'une part et des institutions non financières prenant tout le risque d'autre part. La conclusion selon laquelle les banques souffrent peu de la transition est présente dans l'hypothèse. Il serait préférable de considérer deux banques universelles, conformément au modèle européen, avec des possibilités de contagion entre les deux.
- L'endogénéisation de la courbe des taux est un peu faible. C'est pourtant un élément clé pour représenter le risque de taux auquel les banques font face et permettre de reproduire des situations de type SVB. SVB prenait peu de risques, elle détenait essentiellement des bons du Trésor à son actif. Sa faillite est due à un problème de risque de taux que le modèle ne permet pas de représenter.
- Si l'idée d'un taux de probabilité de faillite est très pertinente, il faut ajuster la façon dont celui-ci est introduit. Pour analyser l'illiquidité d'un secteur, il faut se limiter au compte courant et ne pas introduire le compte financier (crédits et émissions d'actions) qui permet de faire le bouclage. Sinon il n'y a pas de risque d'illiquidité.
- Il serait intéressant d'introduire une dimension forward looking (cf indices de confiance de l'INSEE).
- Dans le modèle, le taux de la banque centrale est fixe. Cela ne permet pas de représenter les risques bancaires et financiers induits par des chocs de politiques monétaires. Pour cela, il serait notamment possible d'intégrer une règle de Taylor.
- Il faut mettre davantage en évidence la capacité d'autofinancement des entreprises. Elles s'autofinancent avec leurs profits non distribués et les dépôts qu'elles ont accumulés.

Les échanges qui ont suivi ont permis d'éclairer les points suivants :

- Il est difficile d'introduire une courbe des taux dans le modèle dans la mesure où la maturité des prêts accordés est constante (8 ans). En revanche, pour le secteur financier non bancaire, le modèle est calibré pour que le taux d'intérêt soit deux à trois fois moindre pour les emprunts de court terme.

- On peut s'interroger quant au caractère endogène de la monnaie lors des opérations d'achats de titres par les banques. Il y a une demande qui émerge de la part de l'entreprise ou de l'État, sur le marché primaire mais, in fine, c'est la décision des banques qui prime.
- Dans la dernière mouture du modèle, les banques achètent également de l'équité de manière résiduelle. Cela étant, si les achats de titres sont effectués sur le marché secondaire ils n'augmentent pas le volume de production des entreprises.
- Dans le modèle, il y a une demande nominale face à une offre réelle de titres. Le transfert de monnaie ne concerne que les nouveaux actifs émis. Un marché secondaire est implicitement modélisé via la réalisation de gains de capital.
- Les agents financiers non bancaires détiennent des réserves d'actifs liquides sous forme de dépôts auprès des banques. Ces dépôts caractérisent leur capacité à faire face à des paiements.
- Dans ce modèle, selon les scénarios, la transition a plutôt un effet bénéfique sur le PIB stimulé par les dépenses d'investissement supplémentaires. Un effet inflationniste se crée en parallèle.
- Étant donné la présence d'un secteur financier conséquent au sein du modèle, il serait intéressant de développer davantage les sources potentielles d'instabilité liées au risque de transition, notamment dans la relation entre banques commerciales et agents financiers non bancaires.

3. Thomas Lagoarde-Segot (Kedge Business School),

Cette présentation porte sur un modèle macro-économique écologique en cours de développement. Ce travail part du constat que si la nécessité de basculer vers un nouveau régime économique est largement admise, il n'y a pas encore de consensus sur les outils à mobiliser pour y parvenir. La littérature autour de la finance verte se développe mais avec elle émergent des risques de greenwashing. Jäger et Schmidt (2020) proposent une taxonomie de la finance verte en distinguant deux pans de la littérature :

- Celui de la **finance verte néolibérale**. Ce pan de la littérature conçoit les objectifs de développement durable comme une problématique de matérialisation des enjeux environnementaux sous forme de profit pour les investisseurs. L'objectif est d'inclure les critères ESG dans le processus d'investissement pour optimiser le couple rendement risque, en supposant que cela permettra d'augmenter les profits et que cette augmentation suffira à enclencher une bascule vers un nouveau modèle de développement économique.
- Celui de la **finance verte réformiste**. Pour ce pan de la littérature, il s'agit d'identifier des leviers de politique macroéconomique qui permettraient de réencaster le fonctionnement du système financier dans des contraintes systémiques sociales et écologiques.

Ce papier vise ainsi à comparer ces deux stratégies en construisant une économie artificielle SFC dynamique, cohérente avec les faits stylisés et comprenant des relations structurelles post-keynésiennes. Il s'agit également de tester des scénarios très simplifiés afin d'observer la transition dynamique du système à partir d'un état stationnaire et d'en dériver une intuition analytique.

Limites de la modélisation

Cet article adopte une conception de la modélisation reposant sur l'ontologie des systèmes ouverts. Avant de se tourner vers le modèle, il convient de rappeler quelques limites de la modélisation :

- Selon Lawson, les modèles de prévision ont échoué, non pas en raison des techniques économétriques et de l'obsolescence des données, mais d'un problème de non-appareillage entre le monde social réel, système ouvert dans lequel de nouveaux paramètres émergent en permanence, et une ontologie en système fermé sur laquelle repose la modélisation.
- Dans une posture plus nuancée, Setterfield (2016) considère que le réalisme critique et la modélisation ne sont pas condamnés à être disjoints. Dans certains cas, il est possible d'imposer une fermeture artificielle au modèle dans l'objectif d'en tirer des séquences de causalité

(méthode *ceteris paribus* keynésienne). Cela conduit à verrouiller certains éléments du réel sans les ignorer pour autant.

- Godley et Lavoie (2012) doutent que les paramètres des modèles aient dans le monde réel une stabilité comparable à celle qui leur a été attribuée. Toutes les relations comportementales sont contingentes, elles peuvent se produire ou ne pas se produire.

Présentation du modèle Philia

Le modèle Philia s'inspire d'un ensemble de modèles post-keynésiens à monnaie endogène (Godley et Lavoie, 2012). Il est caractérisé par :

- L'existence d'une taxonomie verte/brune.
- La présence d'une large palette d'instruments financiers et d'un bloc écosystémique.
- L'introduction d'une certaine hétérogénéité :
 - Au niveau des firmes, trois secteurs sont à distinguer : coopératives, entreprises cotées financiarisées, entreprises publiques.
 - Au niveau des ménages, il convient de distinguer les ménages travailleurs des ménages rentiers. Les premiers perçoivent un salaire et un revenu lié aux surplus réalisés par les coopératives. Les seconds perçoivent l'ensemble des dividendes qui circulent dans le système et qui sont canalisés par les fonds d'investissement.
- Une banque centrale résolument active, qui intervient dès qu'un risque pour la stabilité financière émerge en rachetant massivement des actifs risqués par émission de monnaie de réserve.
- Un Trésor qui se finance en émettant des obligations. Celles-ci sont achetées par les banques, les fonds d'investissement et de manière résiduelle par la banque centrale.
- Une interface écosystémique qui repose sur une taxonomie verte/brune et un bloc écosystémique. Au sein de cette interface, les agents économiques prennent des décisions de dépense, d'épargne, les banques décident d'octroyer ou non des crédits. Cela débouche sur une typologie du stock de capital physique vert et brun qui modifie les rapports entre le système économique et le bloc écosystémique. Cela entraîne des effets sur la disponibilité des ressources matérielles, énergétiques et les émissions de CO₂. Ceux-ci rétroagissent sur le bloc économique par l'inflation.
- Une calibration sur des données de la zone euro.

L'auteur suit Godley et Lavoie (2012). Dans un premier temps, le bloc écosystémique est débranché de l'interface. Un état stationnaire est atteint au bout de 200 répliques, il reste stable pendant 686 périodes. Il s'agit d'un état stationnaire caractérisé par un taux de croissance annuel de l'économie de 4.3%. A partir de cet état stationnaire, le bloc écosystémique est introduit. Les émissions industrielles de CO₂ sont considérées comme une variable d'intérêt entraînant une augmentation des températures au cours du temps. L'inflation est non seulement liée aux tensions énergétiques et climatiques mais également liée aux anticipations adaptatives des agents. Enfin, l'auteur considère une fonction de destruction climatique croissante qui affecte la richesse économique des agents, modifie leurs décisions et entraîne des effets sur le système économique.

Sans le bloc écosystémique, le revenu nominal et réel des ménages rentiers et travailleurs augmente. Dès lors que le bloc écosystémique est introduit, l'écart se creuse jusqu'à atteindre une situation de crash. Il n'y a plus de revenu, l'inflation est devenue trop forte. Le même constat prévaut pour les dépenses de consommation des deux catégories de ménages. Le feedback écosystémique du modèle est lié à l'inflation.

Les simulations

A partir de ce cadre, l'auteur réalise deux simulations, la première reposant sur le scénario de finance verte néolibérale, la seconde, sur le scénario de finance verte réformiste.

Dans le scénario de finance verte néolibérale, la transition écologique doit provenir d'une modification des signaux de marché et des changements de conditions de l'offre de financement. Pour cela, plusieurs chocs sont introduits :

- Une hausse des prix des actifs financiers verts à un taux annuel de 5%. Cela permet d'introduire un greenium. Il y a un découplage entre les taux d'intérêt verts et bruns associés aux instruments financiers : les premiers baissent, les seconds augmentent.
- Une prise de conscience croissante des banques à l'égard des conséquences du dérèglement climatique. La fonction de décision bancaire, tirée de Le Héron (2008), dépend de plusieurs variables macroéconomiques (niveau de dette, coût de refinancement) auxquelles s'ajoute une prise de conscience des conséquences du dérèglement climatique. Cela va conduire les banques à accorder moins de financements bruns.
- Une sensibilité accrue des entrepreneurs aux questions de coût de financement. La part relative d'investissements verts et bruns des entreprises est fonction de l'écart de taux d'intérêt entre les deux types d'investissements. Le choc introduit sur ce paramètre modifie l'élasticité de la demande d'investissements verts au coût du financement.

Dans le scénario de finance verte réformiste :

- L'État impose aux banques de respecter un ratio prudentiel vert (détention d'une certaine part d'actifs verts à leur bilan). Une telle mesure a déjà été adoptée en Inde. Puisque la monnaie est endogène, il n'est pas garanti que la demande d'investissement des entreprises soit suffisante pour permettre aux banques d'atteindre cette cible. L'État intervient alors en tant qu'émetteur vert en dernier ressort pour assurer le respect de la cible réglementaire.
- Il n'y a pas d'additivité. Dès lors que l'État aide une entreprise à rénover son stock de capital, les machines polluantes ne sont plus utilisées et sont remplacées par des machines non polluantes. Cela permet d'éviter les effets de surchauffe.

Résultats

En termes d'effets macroéconomiques :

- Dans le scénario réformiste, un important pic d'émission d'obligations vertes se produit. Cela donne lieu à un fort effet expansionniste : le taux de croissance économique observé dans les premières périodes est cinq fois plus élevé que dans le scénario néolibéral.
- Cela s'accompagne d'une forte augmentation du stock de monnaie externe (i.e. du ratio de dette publique sur PIB). Ce stock représente cinq fois le PIB les premières années et se stabilise progressivement du fait de la croissance économique et de l'inflation.
- La stabilité financière des banques est renforcée dans le scénario réformiste : la cible réglementaire les conduit à accroître considérablement leur détention d'actifs sans risque, ce qui renforce leur ratio de capital.
- En termes d'inégalités de revenu, les deux catégories de ménages bénéficient de cette politique. Dans un premier temps, les ménages travailleurs voient leur richesse financière augmenter via l'activité des PME, des coopératives et les surplus réalisés. Dans un second temps, ce sont les ménages capitalistes qui en profitent : les intérêts associés aux obligations souveraines vertes s'additionnent aux profits bancaires boostant ainsi les dividendes versés aux fonds d'investissement qui sont ensuite reversés aux ménages capitalistes.

En termes de verdissement de l'économie :

- L'approche réformiste est plus efficace pour verdir l'économie. Le ratio d'actifs verts converge très rapidement vers sa cible dans ce scénario. En contrepartie, le verdissement du capital productif est plus important que dans le scénario néolibéral.
- L'augmentation du stock de capital vert combinée au changement technologique favorable permet de produire autant en utilisant moins de ressources matérielles. Le coefficient d'empreinte matérielle diminue très fortement dans le scénario réformiste. Il diminue également mais dans une moindre mesure dans le scénario néolibéral. Le même constat est fait pour le coefficient d'intensité énergétique.
- Il y a néanmoins un effet rebond qui se manifeste. Soutenus par les vagues d'émission d'obligations souveraines vertes, les flux de finance verte sont plus importants dans le scénario réformiste que dans le scénario néolibéral. Toutefois, en raison de l'absence d'étanchéité entre finance verte et brune, les flux d'investissements bruns augmentent également.
- Dans le scénario réformiste, tiré par la hausse du PIB, le stock socio-économique (PIB*intensité matérielle du PIB) augmente davantage que dans le scénario néolibéral.
- Dans le scénario réformiste, la production de déchets est moindre que dans le scénario de base, mais supérieure à celle du scénario néolibéral, en raison de la forte hausse de la production.
- En termes d'inflation, le scénario réformiste connaît une dynamique intéressante. A court terme, l'économie est en surchauffe, les taux d'inflation sont supérieurs aux scénarios de base et néolibéral. A long terme en revanche, la production nécessite moins de ressources, moins de pressions sont exercées sur l'écosystème, l'effet inflationniste est plus faible.
- En termes de températures, le scénario réformiste permet d'atteindre des résultats plus souhaitables que les deux autres scénarios.

Conclusion

Cet exercice sert à organiser la réflexion et non à effectuer des prédictions. Il suggère que la réactivation des politiques de répression financière pourrait contribuer à verdir les bilans financiers, le capital productif et produire une croissance forte. Cela étant, plusieurs limites importantes sont à souligner, entre autres : l'absence d'étanchéité entre les dépenses vertes et brunes, un calibrage du bloc écosystémique à parfaire, l'absence de remise en cause de la taxonomie et les risques de greenwashing que cela comporte.

Discussion du papier : Luis Reyés (Kedge Business School)

- Les équations d'inflation et de taux d'accumulation sortent du cadre keynésien dans la mesure où elles ne sont pas tirées par la demande.
 - En particulier, la pression des salariés n'est pas prise en compte dans l'équation d'inflation. L'absence d'effets de demande explique la plus faible inflation observée dans le scénario réformiste.
 - L'équation du taux d'accumulation omet les aspects de demande et de rentabilité financière. Cette dernière peut être mesurée par le taux de croissance du prix des actions.
- Le modèle mobilise la théorie du picking order selon laquelle les entreprises capitalistes se financent essentiellement par la dette et de manière résiduelle par l'émission d'actions. Or dans le modèle, 90% du financement total proviendrait des actions. Ce point a fait l'objet d'une clarification par la suite et n'est conforme à ce que donne le modèle où le financement par action est bien résiduel.
- Il faut revoir les ordres de grandeurs et les valeurs initiales des paramètres (revenu disponible, consommation des ménages). L'investissement représente plus de 90% du PIB dans le modèle, ce qui n'est pas très représentatif des chiffres de l'UE.

- Le secteur des coopératives a un poids très faible. C'est réaliste dans la mesure où il s'agit d'un secteur minoritaire au sein de l'économie, mais cela interroge quant à la faisabilité des scénarios considérés.
- Les taux d'intérêt des instruments verts tombent à 0 mais cela ne semble pas avoir d'effets sur les simulations. Analyser chaque choc de manière indépendante permettrait de gagner en clarté.

Les échanges qui ont suivi ont permis d'éclairer les points suivants :

- L'inflation est en partie tirée par la demande dans la mesure où c'est l'augmentation de la demande qui entraîne une hausse de la croissance économique. Cela génère une perturbation écosystémique qui se répercute sur le niveau général des prix. L'équation déterminant le niveau des prix demeure apparaît cependant trop rudimentaire sans aucune prise en compte des coûts.
- Les auteurs considèrent également des scénarios alternatifs qui visent à transformer l'économie en considérant une reprise en main du tissu productif par les coopératives.
- Le verdissement des bilans bancaires s'opère par le respect du ratio d'actifs verts. En cas de défaillance du secteur privé, les banques sont obligées de détenir de la dette publique. De fait, le respect de la cible prudentielle se fait en contrepartie d'une forte expansion des bilans bancaires et d'une forte croissance. Le modèle met en évidence un dilemme : une économie en forte croissance n'est pas envisageable dans un monde aux ressources finies. Ce n'est pas compatible avec la baisse des émissions et une plus grande sobriété.
- Dans le scénario réformiste, la banque centrale maintient le taux des obligations souveraines vertes. Cela signifie que le coût de financement est constant.
- Des études montrent que le greenium n'existe pas (Ekeland et Lefournier, 2021).
- Dans le scénario réformiste, il serait souhaitable de définancier plutôt que de recourir aux marchés obligataires. Il pourrait notamment s'agir de passer par des banques publiques d'investissement qui se refinancent auprès de la banque centrale.
- La rétroaction de l'inflation sur le bloc économique est complexe. Elle augmente l'épargne des agents ainsi que leur préférence pour la liquidité. Par conséquent, les achats d'actions baissent et les entreprises font face à des difficultés pour se financer. Cette dynamique cumulative conduit à un effondrement.

Discussion générale

- Il est difficile d'évaluer un modèle sans l'avoir sous les yeux. Il y a une forte asymétrie d'information qui s'installe due à la complexité des modèles, à leur calibration. Cela pose une question d'éthique professionnelle : il est nécessaire de gagner en transparence (ex : modèle de Dafermos en libre accès).
- Il est problématique de raisonner sur des modèles à une zone (le monde ? la zone euro ?). Il serait préférable de raisonner sur des modèles à deux zones pour prendre en compte les interactions avec l'extérieur. Veronese Passarella reprend le modèle de Dafermos en considérant deux zones et parvient à des conclusions opposées. Raisonner sur une zone revient à supposer que le reste du monde ne réagit pas aux chocs impulsés, cela donne une vision déséquilibrée des choses. Il est d'autant plus important de considérer le reste du monde que les États et les entreprises sont en grande partie financés par des non-résidents.
- Il faut clarifier la notion de capital public utilisée. Dans le cadre de la transition écologique, cela fait référence au capital des entreprises publiques ou mixtes et non au capital des administrations publiques.