



WORKSHOP

Modélisation Stock Flux Cohérente (SFC) et changement climatique

5 octobre 2021

Compte rendu rédigé par Jacques Mazier

Dominique Plihon (Université Paris13 et chaire Energie et prospérité) préside et remercie l'ADEME d'accueillir dans ses locaux ce séminaire de l'axe 2 *Macroeconomical and societal challenges of the ecological transition* de la chaire Energie et prospérité. L'objet de ce séminaire est de tirer des enseignements de travaux récents basés sur une nouvelle génération de modèles Stocks Flux Cohérents (SFC) intégrant la transition climatique et menés à l'AFD et dans d'autres institutions. Après une brève introduction aux modèles SFC par Jacques Mazier (Université Paris13 et chaire Energie et prospérité), trois exposés sont présentés et suivis d'une discussion, le premier sur la transition verte en Argentine par Sebastian Valdecantos (Aalborg University), le second sur l'impact du changement climatique sur la macroéconomie marocaine à travers le cas de l'agriculture par Antoine Godin (AFD), le troisième sur une évaluation macroéconomique de l'impact du changement climatique au Vietnam par Etienne Espagne (AFD).

1. Dans une introduction aux modèles SFC **Jacques Mazier** (Université Paris13 et chaire Energie et prospérité) distingue quatre points. Wynne Godley a joué un rôle pionnier dès les années 1970-1980 dans l'élaboration de modèles macroéconomiques sans fondements microéconomiques, intégrant les secteurs réels et financiers d'une manière SFC et tirés par la demande. Ces modèles se sont avérés bien adaptés à l'étude des déséquilibres des années 1990-2000 des économies financiarisées, comme l'ont montré les travaux de Godley au Levy Institute. Une collaboration fructueuse avec Marc Lavoie a ensuite débouché sur une formalisation plus précise des cycles financiers dans une économie domestique et des déséquilibres de l'économie mondiale et européenne. Un même cadre d'analyse, repris dans de nombreux travaux, comprenait un bilan complet des principaux agents et une dynamique kaleckienne tirée par la demande, permettant de décrire les contraintes budgétaires et les régimes monétaires alternatifs au niveau national et international. Des modèles SFC mieux calibrés ou économétriques ont été développés depuis les années 2010 avec les rôles précurseurs du *Levy model of the US* (crise américaine) et du modèle CAM (scénarios de l'économie mondiale), suivis par des modèles en Grèce (crise grecque), au Royaume-Uni, en Italie, au Danemark ou en Argentine (analyse de la décennie perdue). Ce dynamisme, dont l'échelle doit toutefois être relativisée, peut être resitué dans un contexte de critique des modèles d'équilibre général dynamiques DSGE et de réhabilitation des *structural econometric models*.

Enfin des modèles SFC intégrant le changement climatique ont connu un essor certain. En modélisant l'économie mondiale dans son ensemble deux approches peuvent être mentionnées. L'une (Bovari et al.) combine un modèle SFC d'offre et un bloc écologique décrivant hausse des températures et effets dommage. Les risques de crise financière sont soulignés. L'autre approche (Dafermos et al.) modélise plus en détail le changement climatique (dans la lignée de Georgescu-Roegen) et l'articule avec un modèle SFC traditionnel. Le retournement à long terme dû au changement climatique est analysé ainsi que les effets positifs d'une politique verte. La distinction de deux zones (verte et brune par exemple) dans l'économie mondiale apparaît cependant nécessaire. Au niveau des économies nationales plusieurs modèles SFC écologiques ont été ou sont en cours d'élaboration.

En conclusion, des résultats encourageants ont été obtenus sans sous-estimer les problèmes en suspens, notamment les modalités d'introduction de l'offre dans les modèles SFC et le traitement du reste du monde dans les modèles nationaux.

2. Dans un second exposé **Sebastian Valdecantos (Aalborg University)** montre comment un modèle SFC incorporant un tableau d'entrées-sorties permet d'éclairer le tri-lemme auquel est confrontée l'Argentine face à la transition climatique, préserver une croissance suffisante mais au risque de ne pas respecter les engagements de réduction des émissions de CO₂, se désengager des secteurs les plus émetteurs de CO₂ mais au risque d'être confronté à un problème de balance des paiements car ces secteurs jouent un rôle clé en matière d'exportation. La sortie de ce tri-lemme passerait par une politique verte de transition sélective et accompagnée de changements structurels. Le modèle combine un module SFC assez agrégé distinguant secteur privé non financier, secteur privé financier, secteur public y compris la banque centrale et le reste du monde avec un tableau d'entrées-sorties comprenant 31 secteurs (basé sur les données de 2017). Les émissions de gaz par secteur sont simplement reliées à la production avec un coefficient d'émission dépendant de la consommation énergétique et du processus de production. Deux types de ménages sont distingués (les pauvres consommant tous leurs revenus et les plus aisés ayant un comportement d'épargne). La consommation est aussi à l'origine d'émission de gaz. Le financement de l'investissement se fait par prêt bancaire, endettement étranger, émission d'actions et d'obligations vertes. Le taux de change est flexible et déterminé d'une manière implicite par ajustement de l'offre et de la demande des actifs étrangers, conformément à la pratique des modèles SFC.

Au total les effets sectoriels des politiques macroéconomiques et les modalités de financement des politiques climatiques peuvent être explicitement étudiés. Cinq scénarios sont envisagés :

-le *business as usual* sans politiques spécifiques avec une faible croissance, un chômage élevé, une dévaluation endogène mais un quasi-respect des objectifs d'émission ;

-un *business as usual* sans contrainte financière externe qui permet une croissance plus soutenue mais au prix d'un endettement public plus élevé et d'un fort accroissement des émissions ;

-une transition verte généralisée affectant tous les secteurs avec accroissement de l'efficacité énergétique, substitution par des énergies renouvelables, réduction des émissions et effort d'investissement ; malgré une croissance plus soutenue des réductions sensibles d'émissions de gaz sont obtenues mais avec un déficit extérieur croissant peu soutenable ;

- une transition verte sélective centrée sur les cinq secteurs les plus émetteurs de gaz mais en même temps les plus exportateurs et les plus importants en termes d'emploi (agriculture, pétrole, énergie, métallurgie, transport, construction) ; résultats proches du précédent scénario mais avec des réductions d'émission plus marquée ;

-une transition verte sélective avec changement structurel, c'est-à-dire avec une réduction de la dépendance à l'importation, un accroissement des échanges inter-industriels, une diversification des exportations vers des produits à plus forte valeur ajoutée, un effort d'investissement accru ; une croissance moins dépendante de l'agriculture et plus soutenable en terme financier et environnemental peut être obtenue.

En conclusion, cette combinaison d'un modèle SFC et d'un tableau d'entrées-sorties permet d'éclairer certains enjeux importants de la transition climatique en Argentine. Elle souligne que des changements dans la structure productive doivent accompagner les politiques tournées vers les seules réductions des émissions pour parvenir à une croissance soutenable. Des progrès restent à faire pour améliorer

la calibration, mieux analyser les liens entre émissions et structures productives et expliciter le contenu des politiques de changement structurel.

Luis Reyés (Kedge Business School) introduit la discussion en soulignant que le modèle explicite la double dépendance technologique et financière des pays émergents. Les contraintes du financement extérieur dans la transition climatique sont bien mises en évidence. Mais le renforcement des exportations peut difficilement être généralisé à l'ensemble des pays. Les modalités de la réduction de la dépendance énergétique devraient également être mieux explicitées. D'autres points sont soulignés dans la discussion générale. L'importance des politiques de changement structurel est clairement dégagée dans les simulations mais celles-ci sont complexes à mettre en œuvre en pratique. Le rôle des changes flottants face à la contrainte extérieure ne doit pas faire oublier les difficultés de mise en œuvre. Les green bonds demeurent d'ampleur limitée. Ils bénéficient cependant d'une demande étrangère soutenue (ce qui justifie leur mode de détermination).

3. Dans un troisième exposé **Antoine Godin (AFD)** présente les premiers résultats d'un travail en cours sur l'impact du changement climatique sur la macroéconomie marocaine à travers l'agriculture (en association avec des partenaires marocains et avec l'IMBE d'Aix-Marseille). Le contexte est celui d'un climat de plus en plus aride. Le projet articule un volet macroéconomique étudiant les mécanismes de transmission des chocs hydriques sur l'agriculture vers l'économie marocaine (intégration d'un TES dans le modèle GEMMES) et un volet hydro-agricole comparant les besoins en eau et les ressources à horizon de 2050 et mobilisant un modèle hydro-agricole (LPJmL). Ce modèle, recalibré pour le Maroc, fournit la demande en eau et les productions agricoles associées qui sont réinjectées dans le modèle macroéconomique. Le modèle comprend 5 secteurs/produits (agriculture, IAA, marchand non agricole, secteur financier, administrations) auxquels se rajoute le reste du monde, avec un cadre comptable complet et une possibilité de régionaliser la consommation. Les ajustements se font à la fois par les prix et les quantités. La formalisation en temps continu et non discret permet une meilleure description de ces ajustements et une résolution plus rapide. La structure du modèle est conforme aux approches SFC habituelles avec une calibration dynamique par blocs et une validation à travers des chocs de politiques économiques. Un travail de reconstruction de comptes de patrimoine a été nécessaire. Reste l'élaboration de scénarios de référence et alternatifs avec plusieurs fermetures possibles pour résorber les déséquilibres (taux de change, taux d'intérêt, achat par les banques du stock d'obligations publiques), ce qui implique des discussions avec les autorités. Les couplages avec le modèle hydro-agricole et le modèle de mix-énergétique sont en cours.

Gael Callonec (ADEME) introduit la discussion et exprime son accord avec la structure générale du modèle, notamment avec les modalités d'ajustement par les prix et les quantités. Il s'interroge sur la fixation du taux directeur en fonction du seul taux d'inflation. Le taux des obligations publiques devrait dépendre, au moins en partie, de l'offre et la demande mais la discussion est rendue difficile du fait de l'absence d'une description du bloc financier. Les prix devraient dépendre des coûts unitaires et non du seul salaire par tête. Enfin aucune substitution ne semble exister entre capital et travail et capital et énergie, ce qui peut poser problème.

Antoine Godin fournit des éléments de réponse aux questions posées. Si la technologie repose sur un modèle Leontief des effets de substitution apparaissent dans le temps à travers l'impact de l'investissement sur la productivité du travail. De même dans le modèle de mix-énergétique l'investissement entraîne des phénomènes de substitution. La modélisation des prix s'est avérée difficile en raison du type d'indice prix utilisé au Maroc. Le taux d'inflation est bien la variable cible principale dans la fixation des taux d'intérêt selon le ministère des finances mais, en pratique, c'est le taux de change qui est la cible véritable. D'une manière générale c'est la modernisation de l'investissement privé qui est l'enjeu principal au Maroc. Dans la suite des échanges un intervenant de

l'INRA s'interroge sur la prise en compte des aléas et de la qualité des produits agricoles et sur leur impact sur les IAA et les exportations. L'intérêt de la modélisation des services d'intermédiation financière est également souligné. La définition exacte des modèles SFC donne enfin lieu à débat. S'il s'agit de décrire les comptes en flux et en stock d'une manière cohérente, a priori tous les modèles devraient être SFC.

4. Dans un dernier exposé **Etienne Espagne (AFD)** présente sous l'angle macroéconomique les principaux résultats d'une étude sur les impacts socio-économiques du changement climatique au Vietnam. Suivant l'approche de Hsiang et al. (2017) la démarche a consisté à partir d'une évaluation des dommages par secteurs, à agréger les effets directs de ces dommages sectoriels avec une valorisation monétaire et à les introduire dans un modèle macroéconomique SFC pour en faire une évaluation globale. Le modèle repose sur une comptabilité réelle et financière, en flux et en stocks, des cinq agents habituels : firmes, ménages, gouvernement, système financier, banque centrale et reste du monde. Six produits sont distingués : agriculture, énergie, industrie, services financiers, services publics et autres services. L'ajustement offre/demande se fait en modélisant les ventes et la production attendues. Les comportements des ménages et des firmes sont conformes aux modèles habituels. Le financement et la politique monétaire sont décrits d'une manière assez complète avec un taux de refinancement dépendant du taux d'inflation, du taux d'intérêt américain et du taux de change. Le taux de change dépend des entrées et sorties de devises et les réserves internationales s'ajustent en fonction du taux de change. Les banques rationnent le crédit aux ménages et aux entreprises. La dette publique est soumise à un plafond au-delà duquel les ajustements sont sensés se faire par des coupes dans les investissements publics. Les dommages liés au changement climatique sont ensuite évalués par domaines à partir d'études existantes (agriculture et production du riz ; énergie, impact sur la production hydro-électrique et la consommation ; effets sur le nombre de travailleurs, la productivité du travail et la productivité globale des facteurs). Par agrégation les effets de dommages directs en % du PIB peuvent être calculés et se concentrent sur la productivité du travail et la productivité globale. Ces effets sont ensuite réinjectés dans le modèle SFC pour évaluer les pertes induites sur le PIB à horizon des années 2040 (6% de perte de PIB par rapport au baseline pour une augmentation de la température de 1°C). Les effets indirects sont supérieurs d'environ 30 % aux effets directs. Ce travail est une première étape ouverte à l'incorporation d'études plus détaillées.

Edwin Le Héron (Sciences Po, Bordeaux) commente d'une manière détaillée l'exposé précédent. Il s'interroge sur l'utilisation qui est faite du concept de productivité globale des facteurs, assez éloigné de l'approche post-keynésienne. Des formalisations ne sont pas évidentes (impact de la température). Les investissements directs ont eu une forte influence dans les années passées mais est-ce durable à horizon de 2050 ? Les courbes sur les dommages et autres sont sans doute trop linéaires et extrapolent trop les évolutions passées. L'étude des dommages pourrait être complétée, par exemple au niveau d'autres productions agricoles que le riz ou d'autres sources d'énergie. Les comptes financiers sont assez (trop ?) développés pour une économie émergente comme le Vietnam. Où en est la dollarisation ? Malgré le potentiel les interactions flux/stocks pourraient être plus nombreuses. La modélisation sur la distribution du crédit avec rationnement est très bonne. Le taux des obligations publiques ne dépend-il pas plus du stock d'endettement public que du déficit public ? Il faudrait sortir de la logique du prix unique et introduire davantage de désagrégation. Etienne Espagne souscrit à la plupart de ces commentaires ou interrogations qui sont autant de nouvelles pistes à explorer.

Dominique Plihon conclut la séance et remercie l'ADEME pour son hospitalité. Ces échanges pourraient être prolongés par d'autres rencontres, notamment sur le modèle 3ME de l'ADEME.