

Les économistes, des modélisateurs comme les autres ?

Antoine Ronsain^{1,2}, Alexandre Gondran², Estelle Malavolti²

¹ AIRBUS, Blagnac

`antoine.ronsain@airbus.com`

² ENAC, Université de Toulouse, France

`alexandre.gondran@recherche.enac.fr`

Mots-clés : *économie de l'environnement, économie écologique, IAM, macro-économie.*

1 Introduction

Les scénarios socio-économiques présentés dans les rapports du GIEC (SSP) sont issus de modèles macro-économiques qui intègrent des composantes climatiques et énergétiques. Ces modèles, appelés IAM (Integrated Assessment Model), utilisent pour la plupart des outils de la recherche opérationnelle et notamment l'optimisation non-linéaire. Nous allons présenter l'approche de modélisation et d'optimisation des économistes néoclassiques à travers le modèle DICE qui est l'archétype des IAM, à la fois simple et le modèle mère de tous les autres. Il a valu à son développeur, William Nordhaus, le prix de la banque de Suède en l'honneur d'Alfred Nobel en 2018. Développé initialement en 1990, il a été réactualisé de nombreuses fois, la dernière version datant de 2023 [1]. Notre objectif est de présenter la démarche de modélisation et d'optimisation en macro-économie, de montrer les choix idéologiques qui les sous-tendent ainsi que les biais liés à l'outil d'optimisation. On montre que les résultats obtenus avec le modèle DICE sont très fragiles et pourtant ont un poids considérable pour orienter les décisions politiques. On espère aussi susciter l'intérêt de la communauté ROADEF concernant ces questions qui ne doivent pas être laissées aux seuls économistes.

2 Le modèle DICE

Pour les économistes orthodoxes, le réchauffement climatique dû aux activités humaines résulte d'une défaillance de marché (externalité) : les émetteurs de Gaz à Effet de Serre (GES) polluent et ce sont d'autres acteurs qui en subissent les conséquences sans qu'ils en soient d'accord. L'objectif du modèle DICE est de quantifier une taxe carbone qui permettrait de corriger cette défaillance et donc de stopper le réchauffement climatique. En donnant un coût financier aux émissions de GES, le marché internalise cette externalité et corrige le problème. Il laisse la place notamment à des technologies moins polluantes de se développer. Le modèle doit trouver un équilibre entre le coût financier d'investissement dans des technologies 'décarbonées' (backstop technologies) et le coût social du réchauffement (analyse coût-bénéfice).

DICE modélise, sur un horizon temporel allant de 2020 à 2520, l'évolution de variables macroéconomiques à l'échelle planétaire comme la population, le PIB mondial, les émissions globales de GES, la température atmosphérique moyenne, la part de la production mondiale destinée à la consommation ou à l'investissement. Ces variables sont liées par des fonctions non-linéaire. DICE (version 2023) couple un modèle de macroéconomie néoclassique standard, le modèle de Ramsey [2] avec un modèle climatique de référence FAIR [3]. Il ajoute un modèle de taxe carbone qui finance des technologies permettant de produire sans émettre de GES, et même en captant des GES (backstop technologies).

Le fonctionnement est le suivant : la production économique (PIB) émet des GES qui contribuent à augmenter la température atmosphérique, engendrant des dommages climatiques qui

réduisent le PIB (rétroaction négative). Des technologies décarbonant la production peuvent pénétrer le marché grâce à une taxe carbone prélevée sur le PIB et cela permet de limiter voire d'annuler les dommages climatiques. DICE est posé comme un problème d'optimisation non-linéaire dont l'objectif est de maximiser le bien-être de la population, c'est-à-dire la consommation dans DICE. La consommation est tout ce qui reste de la production (PIB) après avoir soustrait les investissements dans les outils productifs (taux d'épargne) et dans les backstop technologies (taxe carbone). Les deux variables de décision du problème sont le niveau du taux d'épargne et le niveau de taxe carbone. À cette formulation, peuvent s'ajouter des contraintes sur la capacité d'abatement, l'augmentation maximum de la température...

3 Analyses des résultats de DICE

On a l'habitude de dire qu'un modèle mathématique ou un problème d'optimisation est construit pour répondre à une question donnée. La question posée par DICE pourrait être formulée ainsi : quel montant faut-il investir dans l'innovation technologique (via une taxe carbone) pour annuler les effets des dommages climatique sur la croissance économique ? La réponse de DICE est que l'équilibre coût-bénéfice est trouvé autour de 87\$/tCO₂ en 2040 puis 149\$/tCO₂ en 2060. L'analyse des résultats du modèle DICE montre que ces conclusions sont très fragiles à la fois du fait des hypothèses de modélisation socio-économique postulées, mais aussi du fait des outils d'optimisation non-linéaire utilisés.

Critiques économiques standards Le modèle DICE et sa calibration sont source de nombreuses critiques. Par exemple, la fonction de dommage utilisée par Nordhaus réduit de seulement 12% le PIB mondial lorsque la température atmosphérique moyenne atteint +6°C, alors que les spécialistes du climat considèrent la survie de l'espèce humaine en danger au-dessus de +4°C. Autre exemple, le facteur d'escompte, qui mesure l'importance des générations futures par rapport à celles d'aujourd'hui, est également très débattu dans la littérature, car il relève de choix éthique difficilement modélisable [4] et qu'il est choisi dans DICE à un niveau élevé.

Analyses propres à l'optimisation Les problèmes liés à l'optimisation numérique non-linéaire sont, par contre, très souvent absents de la littérature. Pourtant, les contraintes et biais sont nombreux. On peut citer par exemple :

- La contrainte de ne modéliser les problèmes macro-économiques que sous la forme de fonctions non-linéaires différentiables, est très restrictif.
- L'absence de garantie de trouver l'optimum global en optimisation non-linéaire.
- L'existence d'autres optima locaux ayant des valeurs de fitness proches mais des structures de solution très différentes. Il n'existe pas à notre connaissance d'études de l'espace des solutions admissibles, ni d'analyse de sensibilité, comme cela est assez communément réalisé en optimisation.
- Les effets de bord liés à l'horizon de temps fini posent des problèmes au niveau de l'optimisation.

Références

- [1] Nordhaus, William D. *Policies, Projections, And The Social Cost Of Carbon : Results From The Dice-2023 Model*. National Bureau of Economic Research, Inc, 2023
- [2] Solow, Robert M. *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. The Quarterly Journal of Economics, 1956
- [3] Leach et al. *FaIRv 2.0.0 : a generalized impulse response model for climate uncertainty and future scenario exploration*. Geoscientific Model Development, 2021
- [4] Stern, Nicholas. *The economics of climate change : the Stern review*. Cambridge University Press, 2007