



**HAL**  
open science

## Un framework open-source écrit en Julia pour la modélisation d'évaluation globale intégrée

Pierluigi Crescenzi, Hicham Lesfari, Emanuele Natale, Aurora Rossi, Paulo Serafim

### ► To cite this version:

Pierluigi Crescenzi, Hicham Lesfari, Emanuele Natale, Aurora Rossi, Paulo Serafim. Un framework open-source écrit en Julia pour la modélisation d'évaluation globale intégrée. ROADEF 2023 - 24ème édition du congrès annuel de la société française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision, Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Feb 2023, Rennes, France. 10.5281/zenodo.7093581 . hal-04008491

**HAL Id: hal-04008491**

**<https://hal.science/hal-04008491>**

Submitted on 28 Feb 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Un framework open-source écrit en Julia pour la modélisation d'évaluation globale intégrée

Pierluigi Crescenzi<sup>2</sup>, Hicham Lesfari<sup>1</sup>, Emanuele Natale<sup>1</sup>, Aurora Rossi<sup>1</sup>, Paulo Serafim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> COATI, INRIA d'Université Côte d'Azur, Sophia Antipolis, France  
{hicham.lesfari,emanuele.natale,aurora.rossi}@inria.fr

<sup>2</sup> Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy  
{pierluigi.crescenzi,paulo.desousa}@gssi.it

**Mots-clés** : *modélisation d'évaluation intégrée, langage de programmation Julia, modèles de dynamique des systèmes, modélisation open-source*

## 1 Introduction

*Operations research is the securing of improvement in social systems by means of scientific method.*  
C. West Churchman

L'une des questions les plus difficiles et les plus pressantes auxquelles la science a été confrontée consiste à essayer de prévoir l'évolution de la société humaine en fonction de ses aspects fondamentaux, tels que l'investissement en capital, la production alimentaire, les ressources naturelles, la taille de la population et la pollution. Ces efforts ont été méthodologiquement révolutionnés par l'utilisation des ordinateurs à l'époque moderne. Une étape historique à cet égard a été le développement du modèle World3 [3], considéré comme l'une des simulations informatiques des systèmes socio-économiques les plus influentes [4]. À ce jour, plusieurs modèles ont été proposés et ont largement influencé le débat scientifique autour de questions cruciales sur l'élaboration des politiques.

Cependant, même les modèles les plus récents ont été développés à l'aide de logiciels qui ne sont pas librement et largement disponibles, tels que le langage DYNAMO datant de la fin des années 1950 et les logiciels propriétaires STELLA et Vensim. De plus, ils s'appuient sur des méthodes qui n'exploitent pas les approches modernes du calcul scientifique en général [1]. Certaines implémentations indépendantes dans différents langages ont été fournies par des chercheurs [6], mais elles ne traitent que certaines parties de ces modèles. Pour remédier à ces problèmes, nous présentons WorldDynamics.jl [2], une bibliothèque open-source pour la modélisation d'évaluation intégrée.

## 2 WorldDynamics.jl

La bibliothèque est développée avec le langage de programmation Julia, qui fait partie des langages les plus populaires pour le calcul scientifique. Bénéficiant d'un riche écosystème de paquets scientifiques, Julia a déjà été utilisé avec succès pour établir des modèles d'évaluation intégrés (MEI) afin d'estimer le coût social des émissions de carbone [5]. La version actuelle reproduit intégralement la famille des MEI développée par le Club de Rome : les modèles World1 et World2 de Jay Forrester, et le modèle notable World3 de Meadows et al. [3], ainsi que ses versions mises à jour de 1994 et 2003 [4].

Présentant l'implémentation complète des modèles susmentionnés, la bibliothèque offre la possibilité de modifier les valeurs, les modèles et les équations et de reproduire les figures. En particulier, pour chaque figure présentée dans la référence associée aux modèles, la bibliothèque fournit une fonction permettant de les reproduire, validant ainsi l'exactitude de notre

implémentation. La Figure 1 représente un exemple de tracé dans lequel la figure originale est affichée en arrière-plan de celle produite par WorldDynamics.jl. Parmi les aspects améliorés de notre implémentation basée sur le code source original de DYNAMO, nous soulignons que nous avons rigoureusement converti les équations originales à différences finies en équations différentielles, permettant ainsi une résolution temporelle arbitraire plutôt que le pas de temps original de 5 ans.

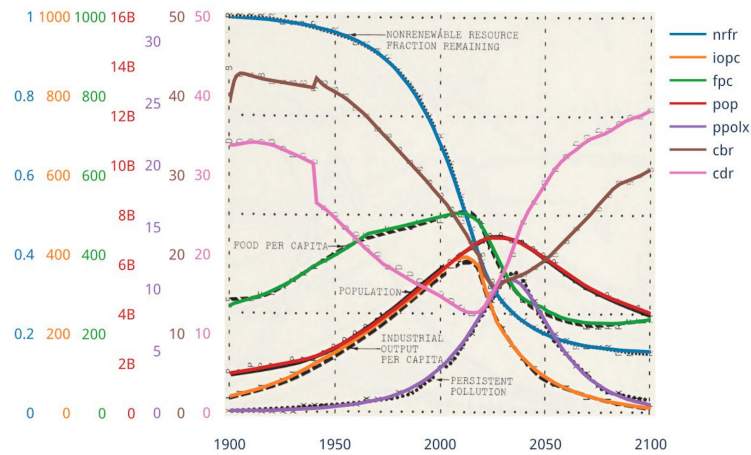


FIG. 1 – Reproduction de la Figure 7.7 de Meadows et al. [3]. Les courbes colorées ont été générées par notre framework et superposées au tracé original du livre.

### 3 Conclusions et perspectives

À travers WorldDynamics.jl, nous visons à fournir un framework moderne pour étudier les modèles d'évaluation intégrés du développement durable. L'implémentation fournie peut bénéficier directement d'une large gamme d'outils disponibles dans l'écosystème Julia, tels que les algorithmes d'analyse de sensibilité globale, les équations différentielles orientées sur les données pour la découverte automatique de modèles, et le langage de modélisation JuMP de Julia pour effectuer une optimisation mathématique sur des aspects des modèles. Les travaux futurs tireront parti de ces outils pour évaluer la qualité des modèles et les implications qui en découlent dans la littérature scientifique. Enfin, la feuille de route du projet comprend l'implémentation de MEI plus pertinents historiquement, comme le modèle DICE du lauréat du prix Nobel William Nordhaus et le récent modèle Earth4All.

### Références

- [1] Robert Y. Cavana, Brian C. Dangerfield, Oleg V. Pavlov, Michael J. Radzicki, and I. David Wheat, editors. *Feedback Economics : Economic Modeling with System Dynamics*. Contemporary Systems Thinking. Springer International Publishing, 2021.
- [2] Pierluigi Crescenzi, Emanuele Natale, and Paulo Bruno Serafim. WorldDynamics.jl : v0.1.0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7093581>, September 2022.
- [3] Dennis L Meadows, William W Behrens, Donella H Meadows, Roger F Naill, Jørgen Randers, and Erich Zahn. *Dynamics of growth in a finite world*. Wright-Allen Press Cambridge, MA, 1974.
- [4] Donella H. Meadows, Jorgen Randers, and Dennis L. Meadows. *Limits to Growth : The 30-Year Update*. Chelsea Green Publishing, illustrated edition, June 2004.
- [5] Frances C. Moore, James Rising, Niklas Lollo, Cecilia Springer, Valeri Vasquez, Alex Dolginow, Chris Hope, and David Anthoff. Mimi-PAGE, an open-source implementation of the PAGE09 integrated assessment model. *Scientific Data*, 5(1) :180–187, September 2018.
- [6] Mathilde Jochaud Du Plessix. *Analyse du modèle World3 : sensibilité, dynamique, et pistes d'évolution*. HAL, INSA Lyon, September 2019.