



HAL
open science

Quelle pertinence pour le modèle World3 ?

Serge Fenet

► **To cite this version:**

Serge Fenet. Quelle pertinence pour le modèle World3?. World3 et le rapport Meadows, Les Limites à la Croissance. Questions raisonnées pour aujourd'hui, pp.1-8, 2023. hal-04311553

HAL Id: hal-04311553

<https://inria.hal.science/hal-04311553>

Submitted on 28 Nov 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Quelle pertinence pour le modèle World3 ?

Serge FENET*

Comment juger de la pertinence d'un modèle ?

Un modèle peut être défini comme une construction abstraite représentant de manière simplifiée une partie du monde observé, et que l'on va pouvoir utiliser pour construire des raisonnements, porter des réflexions sur ce monde. Il se comporte donc comme un objet interrogeable : on peut lui soumettre des questions (les entrées du modèle), et il sera à même de nous apporter des réponses (les sorties du modèle). Cependant, le modèle n'étant qu'une représentation partielle de ce monde, ses réponses seront toujours incomplètes, souvent biaisées, et parfois fausses. Le statisticien George BOX affirmait que "tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles"...

Dès lors, comment juger de la pertinence des réponses d'un modèle, et donc de sa capacité à représenter correctement les aspects du monde qui ont guidés sa création ? Répondre à cette question dépend de deux facteurs principaux. D'une part, des raisons pour lesquelles le modèle a été créé, c'est-à-dire l'ensemble des questions qui sont à son origine : un modèle répondant oui ou non à une question ne sera pas analysé de la même manière qu'un autre dont le but est, par exemple, de produire des cartes géographiques décrivant la probable future propagation d'une espèce invasive. D'autre part, des données disponibles au moment de sa construction, et permettant notamment de comparer une vérité de terrain –ce que le modèle devrait nous dire– avec la sortie du modèle –ce qu'il nous dit effectivement.

Prenons un exemple classique de modèle de classification dont le rôle est de prédire l'appartenance d'un objet (l'entrée du modèle) à une certaine classe (la sortie du modèle) : cet exemple est connu de quiconque à déjà eu à répondre à un captcha sur Internet, et à identifier si une image contient

*Équipe de recherche STEEP - Sustainability transition, environment, economy and local policy, INRIA.

des feux de circulation¹. Dans ce cas particulier, toutes les conditions sont réunies pour précisément analyser la pertinence ou la qualité du modèle construit :

- la question est claire (c'est une image particulière) ; la réponse est aussi dépourvue d'ambiguïté (elle est même binaire : soit l'image contient des feux de circulation, soit elle n'en contient pas) ;
- un être humain –ayant vécu dans une société industrialisée– peut facilement y répondre, et peut donc jouer un rôle d'oracle capable de connaître la bonne réponse et de juger directement et presque sans faute de la pertinence de la sortie du modèle ;
- il existe potentiellement un grand nombre d'images pouvant être utilisées en entrée du modèle, qui pourront d'une part être utilisées pour améliorer sa qualité, et d'autre part permettront de calculer des indicateurs numériques évaluant cette qualité.

Dans ce cas très favorable, nous pourrons faire des statistiques sur un grand nombre d'images présentées en entrée, et notamment identifier dans les sorties quatre cas possibles : les vrais positifs (le modèle répond "oui" et il a raison), les vrais négatifs (le modèle répond "non" et il a raison), les faux positifs (le modèle répond "oui" et il a tort) et les faux négatifs (le modèle répond "non" et il a tort). À partir de ces statistiques, nous serons en mesure de calculer de nombreux indicateurs mathématiques permettant de formaliser certaines caractéristiques du modèle : sa qualité, sa justesse, sa capacité à classifier, sa capacité de rappel, mais aussi ses biais, ses erreurs, etc. Ces indicateurs pourront alors être utilisés pour démontrer la capacité du modèle à construire une sortie pertinente, pour l'améliorer, ou pour comparer différents modèles entre eux.

Mais que se passe-t-il lorsque nous sommes dans un cas moins simple ? Au lieu de répondre oui ou non, le but du modèle peut être par exemple de représenter l'évolution de grandes structures de l'univers sur des milliards d'années, ou bien de calculer une séquence d'actions de conservation permettant de maximiser l'espérance de survie d'une espèce animale en voie

¹Il faut remarquer ici qu'en répondant à cette question simple, les utilisateurs mettent à disposition des concepteurs du captcha la capacité de leur cortex visuel à identifier le motif recherché. Ils *incarnent* donc le modèle. Ainsi, leur réponse pourra être utilisée pour améliorer un modèle numérique effectuant la même analyse, et qui pourra ensuite être revendu. Le captcha ne sert donc pas uniquement à prouver son humanité, mais surtout à fournir un service de validation de modèle numérique dont l'usage futur pourra être monétisé.

d'extinction, ou encore de simuler la propagation d'un virus dans une population. . . Dans ces exemples, les conditions ci-dessus ne sont plus remplies : questions et réponses –c'est-à-dire entrées et sorties du modèle– peuvent être complexes, le résultat peut-être lui-même incompréhensible au premier abord par un être humain, et ce que prédit le modèle peut n'arriver que dans un futur très lointain. Dans ces cas plus complexes, comment définir alors la qualité et la pertinence du modèle ? Il est parfois possible de se reposer sur des analyses plus poussées : identifier des cas simples pour lesquels la sortie du modèle est connue d'avance, analyser les relations entre les variations portant sur les données en entrée et les variations observées en sortie, s'intéresser aux mécanismes structurants internes au modèle, et pas seulement à sa sortie, etc. En fait, aucun modèle ne peut voir sa véracité ou sa pertinence démontrée comme étant vraie dans l'absolu. Il peut cependant être prouvé comme étant plus pertinent qu'un autre modèle, en ce sens qu'il explique mieux le phénomène observé, ou permet de formuler des hypothèses plus intéressantes. Ces hypothèses sont réfutables (selon le principe criticiste), mais pas forcément encore réfutées (selon le principe faillibiliste). Ainsi, quel que soit le phénomène modélisé, il n'existe pas de modèle parfait, juste un meilleur modèle à un instant donné à la lumière de critères donnés. Plutôt que sa pertinence, qui réside essentiellement dans l'œil de l'observateur, on va donc devoir prouver une caractéristique plus importante : sa validité.

La validité d'un modèle –et de tout protocole expérimental ou toute théorie– va s'intéresser à de nombreux aspects, mais on peut en citer ici trois principaux. Tout d'abord, la validité interne va s'assurer que le modèle est cohérent au sens où il est basé sur une identification correcte des relations causales sous-jacentes au processus modélisé : on va s'assurer que les causes précèdent les effets, que les deux sont corrélées, et qu'il n'existe pas de variables cachées induisant une fausse relation de causalité. La validité de construction va s'assurer que le modèle représente bien ce qu'on cherche à modéliser, et étayer l'interprétation de ce que reflète sa sortie. Elle va valider le lien entre le concept abstrait que l'on cherche à représenter, et le concept construit représenté dans le modèle. Enfin, la validité externe va représenter comment le modèle est en accord avec la réalité, et notamment sa capacité à générer des conclusions qui sont ensuite généralisables.

On voit donc que ces questions dépassent de loin les interrogations que l'on peut avoir sur un modèle particulier, et touchent en fait au grand processus de construction de la connaissance que l'on appelle la science. Mais si l'on revient à l'objet scientifique particulier qu'est le modèle World3, on s'aperçoit que le processus scientifique ne peut pas être décorrélé de la société dans laquelle il s'inscrit, et que cette dernière a son mot à dire sur

l'acceptabilité des conclusions scientifiques produites.

World3 : de la pertinence du modèle à la pertinence de son accueil

Il faut tout d'abord préciser que le but central du modèle World3 n'était pas de prédire le futur de l'humanité, mais d'explorer les conséquences et les causes d'une dynamique de croissance socio-économique globale –incarnée dans une croissance physique– sur une planète de taille finie. En ce sens, il est très clairement présenté par ses auteurs comme un modèle explicatif, et non comme un modèle prédictif. Cette exploration s'est effectuée à travers une série de scénarii, chacun analysant quel serait le nouveau facteur limitant si celui du scénario précédent était artificiellement levé. Le premier scénario –intitulé "Business as usual"–, a servi de point de référence. Il imaginait une continuité à partir de la dynamique socio-économique constatée en 1970, et pour laquelle le premier facteur limitant s'est révélé être le coût énergétique d'accès aux ressources naturelles non-renouvelables. La première conclusion de ce travail a été que les politiques produisant de la croissance mondiale finiraient par générer une consommation des ressources terrestres² allant bien au delà de ce qui peut être soutenable sur le long terme, et ce dans tous les scénarii pour lesquels une réduction volontaire et drastique de cette consommation de ressource n'était pas mise en place rapidement. La deuxième conclusion portait sur le fait que ce dépassement des capacités de régénération naturelle de la planète allait induire des contraintes croissantes donnant naissance à diverses forces, issues de l'environnement ou de la société, tendant à ramener les sources de consommation (extraction des ressources, pollution, population mondiale, consommation de terres arables, etc.) à des valeurs compatibles avec les capacités de régénération naturelle de nos écosystèmes. Mais la conclusion vraiment centrale a porté sur l'identification de nombreux longs délais de réaction dans le système Terre, qui imposaient de mettre en place *rapidement* –on était alors en 1972...– des mécanismes limitatifs volontaires : il est nécessaire de faire preuve d'anticipation et de commencer à agir avant que les problèmes ne commencent à se poser, sinon l'inertie propre au système va le faire dépasser ses propres limites, et il sera ensuite trop tard pour éviter un déclin plus ou moins violent. Au final, les auteurs ont constaté et démontré pour notre société humaine l'existence de mécanismes

²Le terme "ressources" étant à prendre au sens large, ces dernières comprenant des ressources énergétiques non renouvelables, des terres arables, des puits d'absorption de polluants, etc.

limitatifs et régulateurs qui étaient connus et constatés par les biologistes depuis longtemps pour les populations animales, mais lorsqu'ils ont conclu en 1972 que la croissance physique ne pouvait pas continuer éternellement, l'énoncé a cependant fait l'effet d'une bombe. Cela vient en partie du fait que, malgré les avertissements des auteurs, il est difficile de ne pas considérer le modèle en terme de prédiction. En effet, le cœur du modèle repose sur une représentation mathématique des différentes boucles de rétroaction participant à la dynamique de croissance globale. Lorsque les valeurs représentées par ces équations atteignent leur pic, ces dynamiques changent radicalement et c'est un régime de décroissance qui va se mettre en place, imposé par la montée en pression des forces de rappel qui vont ramener le système sous la capacité de charge planétaire. Or, cette phase de décroissance est en dehors du cadre de l'étude : autant avant le pic il est possible d'associer les dynamiques du monde réel avec les représentations abstraites construites dans le modèle –c'est même toute la richesse du travail effectué lors de la construction du modèle–, autant il est difficile et périlleux, à partir de l'instant du pic, de re-projeter dans le monde réel une interprétation des dynamiques qui se mettent en action. Le pic est une transition de phase à partir de laquelle il devient impossible d'interpréter les sorties du modèle en termes de conséquences concrètes³. Il est pourtant difficile de s'empêcher d'effectuer cette interprétation, qui est l'un des points sur lesquels le modèle a été attaqué. Les informations de date, notamment, tendent à être interprétées stricto sensu alors qu'elles n'ont pas de sens concret : le point important réside dans l'enchaînement des phases de croissance et de décroissance – et dans l'inévitabilité de ces dernières– plutôt que dans l'identification de dates précises, qui ne seront au final pas pertinentes.

Les controverses levées par la publication du rapport font l'objet d'un autre chapitre de ce livre, mais il y a un certain nombre de points importants à mentionner lorsqu'on s'intéresse à la pertinence du modèle et de ses conclusions. D'une part, la très grande majorité des critiques est venue du monde politique et économique, et non du monde scientifique. Si dans le monde des sciences le désaccord fait partie du processus normal de construction de connaissance –et doit être levé avec les conclusions apportées par l'usage de la méthode scientifique–, il s'avère être destructeur dans le monde politique qui n'utilise pas cette méthode de validation des énoncés. Par ailleurs, dans la vision capitaliste du monde qui est au centre des courants orthodoxes de l'économie, et notamment de sa version néoclassique⁴, la crois-

³À ce sujet, les auteurs ont d'ailleurs débattu de la pertinence de présenter les courbes après les pics, pour finalement choisir de les laisser

⁴Il existe cependant d'autres courants de pensée, dits hétérodoxes, comme par exem-

sance de la consommation est posée comme une pré-condition essentielle, et tout discours remettant en cause ses impacts ou son éternité devient quasiment blasphématoire⁵. Ensuite, la conclusion de l'analyse du modèle remet profondément en question le mode de vie des pays industrialisés, et établit clairement l'impact dévastateur qu'il aura sur le futur s'il n'est pas remis en question. Une telle conclusion déclenche forcément une dissonance cognitive forte chez tout habitant de ces pays. Enfin, il existe un point lié à l'horizon temporel et à l'incertitude : là encore, des conclusions démontrant l'importance de réduire dès aujourd'hui notre dynamique de consommation pour qu'à un horizon très lointain la population humaine ait des chances – difficilement quantifiables – de continuer à vivre décemment ne pourront pas être audible par quelqu'un cherchant en priorité à satisfaire des contraintes à court terme⁶. Constatant l'état du monde près de 50 ans après ces multiples critiques, le jugement du temps n'est toutefois pas tendre avec leurs auteurs, et l'on pourrait avancer que la virulence des unes a été inversement proportionnelle à la pertinence des autres.

En ce qui concerne la pertinence du modèle lui-même cependant, on peut constater avec 50 ans de recul que ses impacts, et surtout ceux du premier rapport publié en 1972 et rédigé par Donella MEADOWS, sont multiples et profonds. En effet, ce rapport à la diffusion exceptionnelle pour un ouvrage scientifique – il a été publié à plus de 30 millions d'exemplaires dans plus de 30 langues –, apporte pour la première fois dans le discours public des analyses étayées portant sur les relations de nos sociétés à notre environnement. Et ces conclusions tombent dans un terreau fertile, car le début des années 1970 voit justement la naissance d'une forte conscience environnementale collective⁷. En ce sens, le rapport a donc probablement eu un rôle majeur dans la naissance de l'écologie politique après l'impulsion donnée par la révolte ouvrière de 1968, et il a notamment été un facteur de rassem-

ple l'économie écologique pour laquelle le modèle World3 est certainement une brique fondamentale.

⁵À ce sujet, il est d'ailleurs ironique de constater que si la levée de bouclier des économistes néoclassiques pour défendre leur vision orthodoxe de l'économie n'avait pas été aussi violente, le modèle World3 serait très probablement passé inaperçu. . . Il a donc certainement profité de ce que l'on a nommé depuis l'effet Streisand.

⁶Compte tenu des contraintes court terme de ré-élection, les politiques ne sont d'ailleurs pas les seuls à raisonner de cette manière : nous fonctionnons tous plus ou moins de cette façon, et c'est peut-être une des raisons pour laquelle, 50 ans après la publication de la première version du rapport, et alors que de nombreux travaux ont validé ses principales conclusions depuis, celui-ci reste malgré tout toujours aussi peu connu.

⁷1972 est notamment l'année de création du United Nations Environment Program, créé après la conférence de Stockholm.

blement pour toutes les personnes qui avaient déjà commencé à adopter les idées qu'il mettait en avant. À ce point, il est cependant nécessaire de distinguer les réactions des pays industrialisés du Nord, et ceux des pays pauvres du Sud. Le modèle n'étant pas spatialisé, il ne distingue pas les dynamiques mises en œuvre dans les uns ou les autres, mais pour ces derniers, les mécanismes présentés liant l'extraction des ressources, l'émission des polluants et l'activité économique ont été révélateurs : ils ont tout à fait compris qui fournissait les ressources et récoltait les polluants, et qui profitait du capital ainsi généré. Les réflexions sur l'impact de la croissance de la population ont aussi fait l'objet de réflexions que certains de leurs représentants ont résumées par une question directe : "quels sont les bébés qui comptent?". Ainsi, bien que ses conclusions s'appliquent à tous les pays du globe – justement parce que le modèle n'est pas spatialisé –, pour certains le message de décroissance mis en avant a ressemblé à un argument d'homme blanc bien nourri sans lien avec ce qu'ils vivaient au jour le jour.

Par ailleurs, les méthodes et outils présentés dans le rapport sont très novateurs. Basés sur une modélisation informatique des relations de dépendance causale structurées en boucles de rétroaction, ils montrent notamment au grand public la nécessité de penser un temps qui n'est plus linéaire : des effets comme l'émission de polluants peuvent avoir des accélérations foudroyantes, alors qu'en même temps l'inertie à long terme du système Terre peut se compter en milliers d'années. Tout à coup, on peut constater d'un côté qu'une petite augmentation de certaines causes peut avoir des effets très rapides sur leurs conséquences, alors que d'autres causes, une fois mises en œuvre, auront elles des effets à très long terme gravés dans le marbre. . . C'est ainsi toute la complexité du monde qui est déployée pour la première fois devant les yeux de millions de lecteurs.

Lorsqu'on interroge un des concepteurs du modèle sur la question de sa pertinence, Dennis MEADOWS explique que pour lui la pertinence de tout modèle relève principalement des changements qu'il permet d'apporter au monde, en terme de connaissance ou en terme d'action. L'argumentation ci-dessus montre qu'en terme de connaissance et de prise de conscience sociopolitique dans le grand public, la pertinence de World3 est indiscutable. Cependant, en terme d'efficacité à réellement faire changer les choses, le blocage politique aura été complet : en 50 ans, aucune action mitigatrice majeure et efficace n'a finalement été mise en place. Beaucoup de communications ont été faites sur divers engagements des états, notamment lors des différentes COP, mais l'écart entre les promesses nationales de limitation des émissions de gaz à effet de serre et les réductions qu'il faudrait opérer pour maintenir le réchauffement en-dessous de la limite de 2°C est par exemple

jugé comme "catastrophique" par l'ONU Environnement dans son *Emissions Gap Report 2022* sur l'action climatique⁸. Aujourd'hui encore, en 2022, alors que les événements climatiques extrêmes se succèdent à un rythme de plus en plus élevé et que le dépassement de cinq des neuf grandes limites planétaires est à présent un fait avéré, on constate que les émissions de gaz à effet de serre des pays industrialisés continuent d'augmenter de plus en plus rapidement, avec une augmentation globale de 23,6% entre 2005 et 2019. En parallèle, le récipiendaire du prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel de 2018, William NORDHAUS, présente les résultats de son propre modèle⁹ en annonçant qu'un réchauffement global de +4°C serait financièrement "optimal"...

La conclusion sur l'impact en pratique du modèle est donc sans appel, et présente une double ironie. D'une part World3 présente une validité de construction et une validité interne étayées par un rapport de plus de 300 pages et près de 50 ans d'analyses, une validité externe de plus en plus confirmée par l'intensification des dégradations climatiques, environnementales, sociales ou politiques, mais il reste cependant ignoré au profit d'un modèle dont la solidité scientifique serait risible s'il n'était pas instrumental dans les débats sur le changement climatique et la décision politique. D'autre part, même en dehors du cadre dans lequel il a été créé, World3 présente une capacité de rétro-validation¹⁰ que, là encore, aucun autre modèle macro-économique orthodoxe ne peut se vanter d'exhiber¹¹. Malgré ces caractéristiques impressionnantes, et maintenant que tout indique que nous sommes en train de vivre le point d'inflexion annoncé par le modèle dans l'un de ses pires scénarii, sa pertinence n'est maintenant plus une question d'actualité : malgré tout ce qu'il aurait pu nous apporter depuis 50 ans, sa confrontation avec le réel s'est au final soldée par une fin de non-recevoir.

⁸<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>

⁹Le modèle de type coût-bénéfice DICE (<https://williamnordhaus.com/dicerice-models>).

¹⁰Capacité du modèle à voir ses sorties validées avec succès par une observation a posteriori.

¹¹Il est difficile de résister à la tentation de comparer les trajectoires explorées par les différents scénarii et la trajectoire réelle observée depuis 1970. Cet exercice n'a pas beaucoup de sens pour un modèle explicatif, mais la curiosité humaine étant ce qu'elle est, certains l'ont tenté.