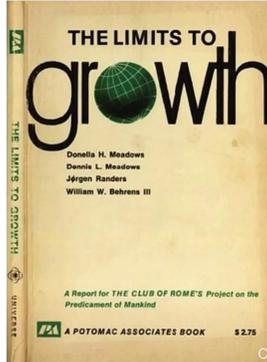


INTRODUCTION

"The Limits to Growth", publié en 1972 par le Club de Rome, est une œuvre majeure rédigée par Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers et William W. Behrens III. Ce livre propose une analyse des relations entre population, production, quantité de ressource.



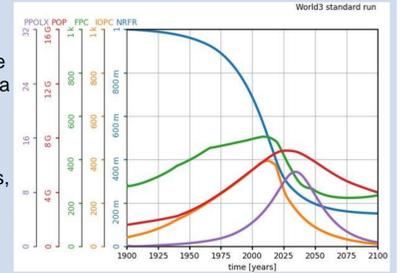
A partir de cela est érigé un modèle déterministe prédictif : World3. Le cœur de notre étude repose sur la compréhension de ce modèle, de ses résultats, et de leur interprétation.

MÉTHODES

Le modèle World3 est un modèle open source qui permet de simuler l'avenir du monde selon une centaine de paramètres, pour en déduire l'évolution de 5 grandes variables :

- La population, notée « POP »
- La nourriture par habitant, notée « FPC »
- Le PIB par habitant, noté « IOPC »
- Les réserves non renouvelables, notées « NRFR »
- La pollution, notée « PPOLX »

La caractéristique du modèle, sous forme de module python, est sa flexibilité, car, en raison du grand nombre de paramètres, le modèle permet de simuler énormément de stratégies.



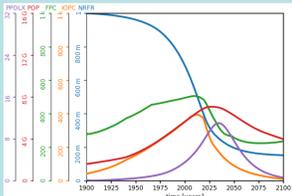
ÉTUDE & RÉSULTATS

I/ Divers scénarios

Au cours de cette première partie, nous mettrons le modèle à l'épreuve, en testant diverses stratégies. Nous noterons que tout est simulé à partir de l'an 1950, et les données initiales sont donc fixées selon cette année.

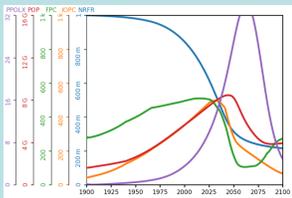
pollution population nourriture production non renouvelables

Si rien n'est fait :



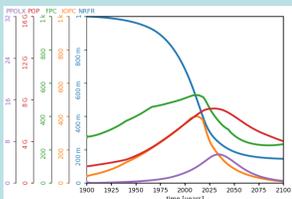
On constate une crise vers 2030 due à l'épuisement des ressources. Cela résulte en déclin de la population, une baisse de la productivité et de l'alimentation

Les réserves en ressources non renouvelables sont doublées



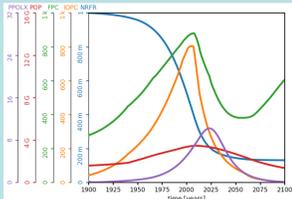
Les conséquences sont les mêmes, sinon plus violentes : La pollution explose, et la nourriture par habitant atteint un minimum dramatique. Cela montre que l'épuisement des ressources n'est pas l'unique problème : la pollution risque de nous affecter lourdement

Autrement optimiste : industrie deux fois moins polluante



La pollution est certes plus faible, et le déclin moins important, mais en définitive le problème semble le même, mais décalé de deux décennies.

Solution radicale : politique de l'enfant unique



Comme attendu, la population reste faible. Le modèle prédit une chute de la production industrielle avec la baisse de la main d'œuvre, mais la production agricole se portera bien après 2075 : on a une transition vers une société agraire

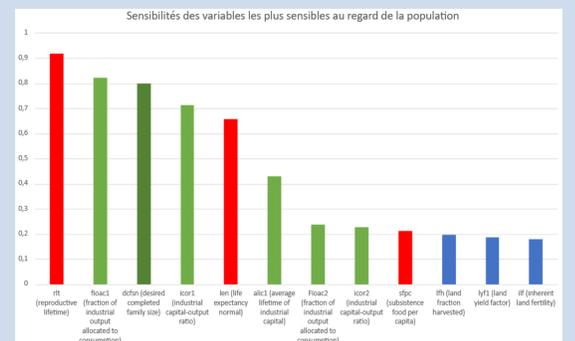
II/ Étude de la sensibilité

Ces divers scénarios ne sont pas toujours satisfaisants. Tantôt l'humanité souffre de malnutrition, tantôt sa population décroît indéfiniment. Nous cherchons donc à établir une stratégie – par descente du gradient – pour minimiser les dégâts.

Pour évaluer une sensibilité selon un paramètre p, on le fait varier en figeant les autres pour en dégager deux courbes.

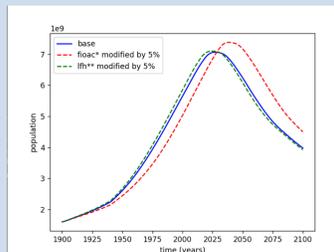
$$sensi(p) = \sqrt{\sum_i \left(\frac{a_i - b_i}{a_i} \right)^2}$$

Les a_i et b_i étant respectivement les ordonnées des points de la première et de la seconde courbe simulées par le modèle.



Ce graphe donne la sensibilité des 12 variables les plus sensibles vis-à-vis de la population. Les rouges sont difficilement modifiables, et on peut influencer sur les vertes à travers un changement d'habitudes, de comportement (consommation...) et sur les bleues à travers des améliorations techniques ou des changements politiques d'exploitation. On constate que les variables modifiables critiques sont celles qui sont relatives aux changements de comportement, et non au progrès technique.

Voici les paramètres les plus importants. Si nous voulons appliquer un algorithme de descente de gradient pour trouver une stratégie optimale, nous nous retrouvons bloqués devant cet espace de trop grande dimension.



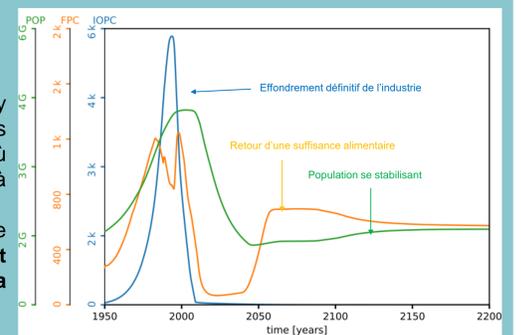
III/ Proposition d'une stratégie

Nous faisons le choix d'optimiser les aspects suivants :

- La population mondiale en 2200
- La croissance de la population en 2200

Le dernier point se justifie par le fait que l'on souhaite éviter le scénario du « grand effondrement », si récurrent.

En se servant de la bibliothèque scipy pour optimiser les 7 paramètres significatifs, on obtient un scénario où la population mondiale se stabilise à terme. L'algorithme nous annonce la chose suivante : il faudra diminuer la part de la production allouée à la consommation.



DISCUSSION & CONCLUSION

- Les simulations faites sur le world3 model nous donnent donc une idée des variables influant le plus l'issue des scénarios. On remarque que les variables les plus sensibles sont celles liées à la consommation, et sont donc celles sur lesquelles on peut le plus facilement jouer en modifiant les habitudes.
- Certaines pistes d'amélioration du modèle World3 ont été suggérées au fil des années pour renforcer sa précision et sa pertinence. On peut notamment penser à l'intégration de variables de changement climatique, une mise à jour du modèle pour refléter plus précisément l'impact des activités humaines sur le climat mondial serait une amélioration significative ; ainsi que la prise en compte des progrès technologiques afin d'affiner les résultats.
- Il est important de noter que toute amélioration du modèle doit être entreprise avec prudence, car la complexité du système mondial rend difficile la création d'un modèle parfait.

RÉFÉRENCES

The Limits to Growth (Donella H. Meadows, Dennis I. Meadows, Jorgen Randers), The Club of Rome, 1972

Mathilde Jochaud Du Plessix. Analyse du modèle World3 : sensibilité, dynamique, et pistes d'évolution. Modélisation et simulation. 2019

<https://github.com/cvanwynsberghe/pyworld3>

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/halte-a-la-croissance/>

