

## Les limites planétaires : dernier signal avant l'effondrement ?

Aurélien Boutaud<sup>1</sup>, Natacha Gondran<sup>2</sup>

*Revue Internationale Stratégique*, n° 131, pp. 129-138 (2023)

1. Consultant indépendant, chercheur associé à l'UMR 5600 EVS

2. Mines Saint-Etienne, Univ Lyon, CNRS, Univ Jean Monnet, Univ Lumière Lyon 2, Univ Lyon 3 Jean Moulin, ENS Lyon, ENTPE, ENSA Lyon, UMR 5600 EVS, Institut Henri Fayol, F - 42023 Saint-Etienne France

---

L'idée que des limites physiques planétaires pourraient un jour contraindre le développement de l'humanité n'est pas, en soi, nouvelle. Du début de la révolution industrielle jusqu'à la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, cette préoccupation a toutefois essentiellement concerné les ressources naturelles. A la toute fin du 18<sup>ème</sup> siècle, anticipant les effets de la croissance démographique et de l'industrialisation, Thomas Malthus craignait déjà que l'augmentation exponentielle des besoins humains soit entravée par la limite de disponibilité des ressources. Cette préoccupation légitime a d'ailleurs été le moteur de nombreux efforts qui ont permis de repousser ces limites, contredisant les prédictions malthusiennes. Par exemple, en substituant des forêts par des espaces de culture, en massifiant l'usage des engrais minéraux et celui des pesticides de synthèse, ou encore en rationalisant et en mécanisant le travail agricole, l'humanité est parvenue à accroître la production alimentaire plus vite que n'augmentait la population. De même, l'intensification des techniques minières a permis de démultiplier les possibilités d'extraction des énergies fossiles et des minéraux.

Ce succès a paradoxalement confronté l'espèce humaine à une nouvelle forme de limites planétaires. L'intensification de l'exploitation des ressources a en effet eu pour conséquence de générer des flux de pollution considérables. D'abord localisées, ces perturbations se sont progressivement globalisées, au point de perturber l'ensemble de la biosphère. C'est pour mieux comprendre ces menaces que, au milieu des années 2000, des chercheurs en Sciences du Système Terre (SST) ont

proposé d'introduire la notion de *planetary boundaries*, parfois traduite en français par *limites* ou, plus justement, *frontières planétaires* [1].

### Le système Terre et le régime de l'Holocène

Pour comprendre ce référentiel des frontières planétaires, il est important de rappeler quelques fondamentaux des SST. Ces dernières s'intéressent aux interactions complexes entre les différentes composantes de l'écosystème terrestre comme l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère ou encore la biosphère. Les échanges de matière et d'énergie entre ces différentes composantes du système Terre – ce que les scientifiques appellent les cycles biogéochimiques – expliquent en grande partie les équilibres écologiques qui s'établissent progressivement au cours de longues périodes glaciaires et interglaciaires qui rythment les temps géologiques, et dont les successions sont étroitement liées au positionnement de la Terre vis-à-vis du soleil. Depuis maintenant plus de 11.000 ans, nous vivons dans l'une de ces périodes relativement homogènes, que les géologues appellent l'Holocène, et qui correspond en réalité à la dernière période interglaciaire de l'ère quaternaire. Supposé se maintenir pendant encore plusieurs milliers d'années, avant la prochaine glaciation, le régime climatique de l'Holocène s'est avéré particulièrement favorable au développement des activités humaines.

Malheureusement, certaines de ces activités mettent aujourd'hui en péril l'équilibre du système Terre, au point de menacer celui-ci de sortir du régime de l'Holocène.

L'un des moteurs importants de cette sortie de route est le relargage massif de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère consécutif à la combustion des énergies fossiles. Ce déséquilibre du cycle biogéochimique du carbone se traduit notamment par une modification de la composition physicochimique de l'atmosphère, cause majeure du réchauffement climatique de plus de 1°C que nous constatons depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle.

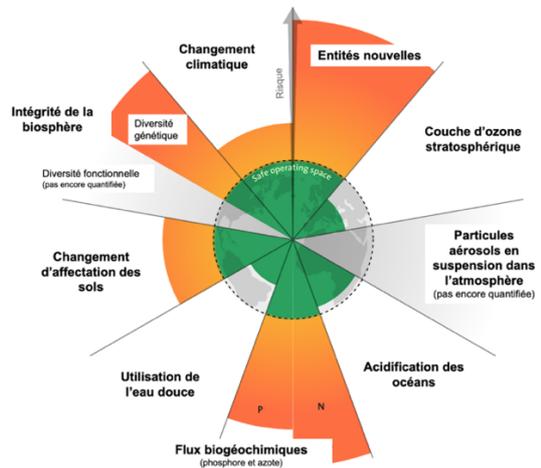
Ce que redoutent les spécialistes des SST, c'est que, une fois franchi un certain seuil, des effets en chaîne se mettent en œuvre,



## Malheureusement, le climat n'est pas la seule variable menacée

Le diagnostic est encore plus préoccupant dès lors que l'on porte le regard au-delà du seul enjeu climatique. On constate alors que le bouleversement du cycle du carbone a non seulement des effets sur l'atmosphère mais aussi sur l'hydrosphère, puisqu'il est responsable d'une préoccupante acidification des océans. De leur côté, les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore ont été profondément perturbés par des décennies d'agriculture intensive fondée sur l'usage d'engrais minéraux, ce qui entraîne non seulement des pollutions locales mais aussi l'apparition de plus en plus récurrente de vastes zones mortes au sein des écosystèmes d'eau douce et des océans. Sous l'effet des nombreuses atteintes portées aux écosystèmes (destruction des milieux, pollutions diverses et variées). La biodiversité connaît de son côté une érosion sans précédent, et ce alors même qu'elle constitue un élément absolument déterminant de la résilience du vivant – et donc de la biosphère. La déforestation est quant à elle en train d'atteindre des proportions qui menacent les équilibres climatiques, le cycle de l'eau et la biodiversité. Des études récentes mettent également en cause l'omniprésence des substances chimiques (qualifiées d'« entités nouvelles »), dont l'accroissement de la production en volume et en diversité rend aujourd'hui leurs effets sur l'environnement impossibles à clairement délimiter et maîtriser [5].

Au total, sur les neuf variables qui ont été retenues par W. Steffen et ses collègues en 2015 dans le référentiel des frontières planétaires (et qui sont à ce titre reconnues comme déterminantes pour le maintien des équilibres de l'Holocène) au moins cinq font l'objet d'un dépassement de frontière planétaire dûment documenté.



### Les 9 variables du référentiel des frontières planétaires

Sur 9 variables du système Terre monitorées, au moins 5 font aujourd'hui l'objet d'un dépassement de frontière planétaire (source : [Stockholm Resilience Center, 2022](#))

## Un référentiel de plus en plus souvent mobilisé pour penser la transition écologique

Que ce soit pour ses vertus pédagogiques et la vision systémique qu'il véhicule, ou pour le cadre d'analyse des risques qu'il propose, le référentiel des limites planétaires a connu un succès indéniable depuis la première publication par J. Rockström et ses collègues, en 2009[9].

Par exemple, même si W. Steffen et ses collègues (2015) admettent que le référentiel n'est pas très adapté pour être utilisé à une échelle locale ou nationale, plusieurs acteurs publics ou privés ont expérimenté des « descentes d'échelle » du cadre afin de l'adapter à leur propre territoire ou activité. En France, le Commissariat Général au Développement Durable utilise par exemple ce cadre pour compléter sa présentation de l'état de l'environnement en France [10]. L'ambition est ainsi d'utiliser ce référentiel pour identifier ce que les territoires ou les entreprises doivent faire pour rester à l'intérieur des « frontières du système Terre » [11].

Une approche qui va dans ce sens est « l'évaluation absolue de la soutenabilité environnementale » (EASE), qui fait l'objet d'un intérêt croissant au sein de la communauté des spécialistes de l'analyse de cycle de vie. Son objectif est de mettre

en perspective les impacts générés par un système donné (produit, entreprise ou service par exemple), estimés par analyse de cycle de vie, avec une « capacité de charge » qui est définie comme l'impact maximal que l'environnement peut supporter sans souffrir d'une altération inacceptable, c'est-à-dire sans franchir les frontières planétaires [12]. Par exemple, le joint Research Center de la Commission Européenne évalue l'empreinte de la consommation des différents pays européens au regard des limites planétaires [13]. Cette représentation fait clairement apparaître que la consommation moyenne des habitants de l'Union Européenne est insoutenable au regard du changement climatique, de la pollution des eaux douces et des émissions de particules.

### **Des difficultés d'application qui restent nombreuses**

Ces tentatives d'opérationnalisation des limites planétaires sont intéressantes et encourageantes. Mais elles posent toutefois des difficultés méthodologiques qui, parfois, se heurtent à des verrous impossibles à lever par une approche strictement scientifique.

En effet, ces méthodes d'analyse suivent généralement quatre étapes :

1. L'estimation des impacts environnementaux générés par le système anthropique étudié (par analyse de cycle de vie, par exemple).
2. La quantification de la capacité de charge, au niveau planétaire ou territorial pour chaque impact considéré.
3. L'attribution d'une part de la capacité de charge mondiale au système étudié.
4. La comparaison entre les impacts estimés et la part de capacité de charge pouvant être attribuée au système étudié.

Si la première étape est relativement normalisée aujourd'hui, la deuxième et la troisième étape sont au stade de développement méthodologique et conceptuel. La quantification de la capacité de charge implique de mobiliser des modèles qui font le lien entre les

pressions générées par les activités humaines et les variables de contrôle qui font l'objet des limites planétaires. En quelque sorte, cela implique de définir un « reste à émettre (ou à polluer) » qui nous permettrait de respecter les frontières planétaires.

La troisième étape est encore plus délicate en termes éthiques, car elle vise à quantifier quelle part de la capacité de charge mondiale peut être attribuée au système étudié, ce qui oblige à faire des choix de principes de partage issus de différentes théories de justice distributive. Le principe le plus communément utilisé est celui d'une répartition égale par personne entre les pays et les individus, combiné à des principes utilitaristes pour répartir ensuite ce « reste à émettre » entre les différentes activités anthropiques. Mais ces choix peuvent être débattus : les pays ayant historiquement le moins contribué aux émissions passées ne pourraient-ils se voir attribuer un « reste à émettre » supérieur aux autres ? La répartition des « restes à émettre » entre les différentes activités anthropiques peut-elle se baser sur la répartition actuelle, intrinsèquement insoutenable, ou ne devrait-elle pas plutôt se baser sur des principes de « suffisantisme » (revenant à prioriser ce qui est « suffisant pour vivre » plutôt que le superflu) ?

### **Les frontières planétaires face au défi de la justice sociale**

Ces questions d'ordre éthique invitent à considérer le système Terre au-delà de ses caractéristiques purement physiques, pour y inclure des variables sociétales. Or le référentiel des frontières planétaires a été proposé à l'origine par des spécialistes de la « modélisation du système Terre », sans prendre en compte les sciences sociales. S'il a rencontré un succès certain auprès des acteurs des pays « du Nord », du fait de son potentiel de visualisation intuitif et pédagogique, il peinait jusqu'à présent à trouver un soutien politique fort de la part des pays du Sud [6]. En 2023, une publication sur les « frontières du système Terre » est venue enrichir cette réflexion en associant parmi ses auteurs Joyeeta Gupta, spécialiste internationale des questions de gouvernance et développement inclusif.

Dans cette nouvelle publication, le système Terre est appréhendé dans ses dimensions socio-écologiques [4], en introduisant un critère de justice pour définir les frontières d'un « espace juste et sûr de fonctionnement ». La notion de « justice » est ici définie comme un état qui « minimise l'exposition humaine à des dommages significatifs ». Les auteurs de l'article se basent ainsi sur trois critères : la justice entre les espèces, entre les générations et, au sein d'une même génération - c'est à dire entre les pays, communautés et individus. Selon les processus écologiques considérés, la frontière « juste » peut être plus ou moins contraignante que la frontière « sûre ».

Par exemple, pour le changement climatique, la frontière « sûre » qui minimise les risques de franchissement de seuils de bascule a été estimée à 1,5°C d'augmentation de température moyenne mondiale. Pourtant, selon le dernier rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat, une hausse de 1°C de cette température moyenne mondiale expose des dizaines voire des centaines de millions de personnes à des événements météorologiques extrêmes ainsi qu'à des hausses de température telles que certains territoires deviennent inhabitables [7]. En effet, lorsque la température dite « de bulbe humide » (qui prend en compte le refroidissement lié à l'évaporation de l'eau) dépasse 35°C, le corps humain ne peut plus réguler sa température car la sueur ne s'évapore plus. Rester trop longtemps à une telle température peut entraîner la mort [8]. Lorsque la hausse de température moyenne mondiale dépasse 1°C, ce sont donc des dizaines de millions de personnes qui risquent d'être exposées à un tel phénomène, rendant la vie en extérieur tout simplement impossible sur certains territoires, ce qui soulève d'évidentes préoccupations de justice intra et inter-générationnelle. Ce constat amène les auteurs de la dernière publication sur le cadre des « frontières du système Terre » à préconiser une frontière « juste et sûre » correspondant à une augmentation de la température moyenne mondiale de 1°C... qui équivaut à celle actuellement constatée par les climatologues.

## **Conclusion**

Comme ce bref tour d'horizon permet de le constater, le succès rencontré par le référentiel des limites planétaires n'a pas empêché de nombreuses questions d'émerger. Et il est aujourd'hui difficile de tirer un bilan clair des avancées qu'il a permises.

D'un côté, il faut reconnaître que la notion de frontière planétaire est parvenue à faire avancer dans le débat public un certain nombre de questions et d'enjeux cruciaux qui, jusque-là, étaient essentiellement connus des seuls spécialistes des sciences du système Terre. Parmi ses principales vertus, on notera que le cadre proposé parvient assez bien à attirer l'attention sur la dimension systémique des enjeux environnementaux, à un moment où la tentation est forte de focaliser l'intérêt sur le seul changement climatique. En révélant les interactions entre différents déterminants du système Terre, le modèle proposé permet par exemple de discréditer un certain nombre de solutions simplistes pour lutter contre le changement climatique, comme celles proposées par la géoingénierie – qui auraient des effets dommageables sur d'autres déterminants de la biosphère.

D'un autre côté, même s'il parvient à séduire certains acteurs proches des sphères de décision politique et économique, le cadre des frontières planétaires est difficile à rendre opérationnel, ce qui pourrait rapidement générer certaines déceptions. Il faut également admettre que le succès rencontré par ce cadre d'analyse est en réalité très relatif, puisque les notions de limites et de frontières planétaires sont encore quasiment absentes des grands médias. Elles sont de ce fait loin d'être connues et comprises par le commun des mortels. On peut à ce propos se demander si le vocabulaire scientifique utilisé est approprié pour interpeller un public plus large sur l'importance des enjeux dont il est question. Plutôt que parler de limites ou de frontières, peut-être serait-il plus pertinent de focaliser l'attention sur la notion centrale de points de bascule et, plus encore, sur les conséquences de leur franchissement. Ce n'est d'ailleurs sans doute pas un hasard si cette littérature académique a commencé à être popularisée dans le monde francophone

par le biais de la notion d'effondrement, plus à même d'interpeller sur ce qui se joue réellement derrière le franchissement des frontières planétaires.

- [1] Boutaud A. F., Gondran N. *Les limites planétaires*. La Découverte.Paris : [s.n.], 2020. 128 p.(Repères).
- [2] Rockström J. et al. « A safe operating space for humanity ». *Nature* [En ligne]. 2009. Vol. 461, n°7263, p. 472-475. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1038/461472a> >
- [3] Steffen W. et al. « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet ». *Science* [En ligne]. 13 février 2015. Vol. 347, n°6223, p. 1259855-1259855. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1126/science.1259855> >
- [4] Rockström J. et al. « Safe and just Earth system boundaries ». *Nature* [En ligne]. 31 mai 2023. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8> > (consulté le 23 juin 2023)
- [5] Persson L. et al. « Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities ». *Environ. Sci. Technol.* [En ligne]. 18 janvier 2022. p. acs.est.1c04158. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158> >
- [6] Biermann F., Kim R. E. « The Boundaries of the Planetary Boundary Framework: A Critical Appraisal of Approaches to Define a "Safe Operating Space" for Humanity ». *Annu. Rev. Environ. Resour.* [En ligne]. 17 octobre 2020. Vol. 45, n°1, p. 497-521. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-080337> >
- [7] IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, : Cambridge Univ. Press, 2022. (eds Pörtner, H.-O. et al.).
- [8] Matthews T., Raymond C. « Avec le réchauffement climatique, l'être humain va atteindre ses limites de résistance à la chaleur ». *The Conversation* [En ligne]. octobre 2021. Disponible sur : < <https://theconversation.com/avec-le-rechauffement-climatique-letre-humain-va-atteindre-ses-limites-de-resistance-a-la-chaleur-169882> >
- [9] UNDRR (United Nations Office For disaster risk reduction)). *Global catastrophic risk and planetary boundaries: The relationship to global targets and disaster risk reduction*. [s.l.] : [s.n.], 2022.
- [10] CGDD (Commissariat Général au Développement Durable). *Rapport de synthèse. L'environnement en France*. La Documentation Française.[s.l.] : [s.n.], 2019.
- [11] Bai X. et al. « How to stop cities and companies causing planetary harm ». *Nature*. Vol. 609,.
- [12] Bjørn A. et al. « Review of life-cycle based methods for absolute environmental sustainability assessment and their applications ». *Environ. Res. Lett.* [En ligne]. 1 août 2020. Vol. 15, n°8, p. 083001. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab89d7> >
- [13] JRC (Joint Research Center). « Consumption footprint Platform / EPLCA ». [s.l.] : [s.n.], 2023. Disponible sur : < <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ConsumptionFootprintPlatform.html> >