

LRD

Dessiner la carte des « frontières planétaires » de l'humanité

18 L'humanité se comporte comme un chauffard qui roule la nuit, feux éteints, au bord d'une falaise. Pour l'aider à identifier le danger – aigu – qu'elle encourt, une équipe scientifique pluridisciplinaire internationale a entrepris de lui procurer des phares afin de l'aider à se repérer et de l'inciter à lever le pied. Selon ses termes, il s'agit d'identifier les seuils à ne pas transgresser et les « frontières planétaires » à respecter pour maintenir l'humanité à distance de sécurité de ces seuils.

L'industrialisation du monde modifie en profondeur le fonctionnement du système Terre. En 2002, le géochimiste néerlandais Paul Crutzen, Prix Nobel de chimie, popularise le mot « anthropocène » que son collègue biologiste et géologue états-unien Eugene Stoermer a forgé pour désigner l'époque géologique qui correspond au déploiement de la civilisation industrielle.

Durant l'anthropocène, l'activité humaine est la principale force de changement au sein du système Terre. Elle est due à l'essor progressif, puis de plus en plus rapide des « machines à feu » (page 32). Et fait suite à l'holocène, période interglaciaire débutée voilà plus de 10 000 ans, que caractérise la stabilité du système Terre que régulent de grands mécanismes globaux.

En modifiant son environnement au point où elle le fait, l'humanité affecte certains de ces mécanismes. Pour tenter de cartographier l'espace terrestre à l'intérieur duquel elle peut compter sur des conditions de stabilité suffisantes pour pouvoir poursuivre son chemin en confiance, une équipe de vingt-neuf scientifiques s'est donné pour tâche de localiser les « frontières planétaires » de l'humanité.

Emmenée par le spécialiste suédois de gestion des ressources naturelles Johan Rockström, directeur de l'Institut de l'environnement de Stockholm et du Centre pour la résilience de cette ville, cette équipe a fait le point sur son travail dans l'hebdomadaire scientifique *Nature* en septembre 2009 (Rockström et coll., 2009).

Pour plusieurs processus clés du système Terre, l'activité humaine menace de déclen-

cher des perturbations dévastatrices pour les conditions de vie. But des chercheurs : circonscrire le périmètre de ces processus, puis tenter d'établir, pour chacun d'entre eux, la limite ou « frontière planétaire » à respecter afin de rester à distance d'un changement environnemental global insupportable.

Un changement insupportable est lié au risque que l'humanité encourt en quittant l'holocène, dont la stabilité a permis à l'agriculture et aux sociétés complexes d'apparaître et de se développer. La question à laquelle il faut désormais répondre pour affronter sereinement l'avenir est la suivante : quelles sont les conditions planétaires *non négociables* que l'humanité doit respecter afin d'éviter des changements environnementaux dévastateurs aux échelles continentales et globale ?

Les chercheurs réunis autour de Rockström ont identifié neuf domaines ou mécanismes clés sujets à une très grave déstabilisation. Ces domaines ou mécanismes couvrent : les cycles biogéochimiques globaux de l'azote, du phosphore, du carbone, de l'eau ; les systèmes physiques majeurs de la planète (le climat, la stratosphère, les océans) ; les caractéristiques biophysiques de la Terre qui contribuent à la résilience de ses capacités autorégulatrices (la biodiversité marine et terrestre, les systèmes de terres) ; et deux caractéristiques critiques associées au changement global anthropogénique (la charge en aérosols dans l'atmosphère et la pollution chimique).

L'objectif est de réussir à dire, pour chacun de ces domaines ou mécanismes : là se situe le seuil dangereux, le point de rupture d'équi-

libre, de non-retour qui va enclencher des effets en cascade dévastateurs et incontrôlables ; et là se situe un point à distance de sécurité satisfaisante de ce seuil, autrement dit, la limite à ne pas franchir ou, de façon imagée, la « frontière planétaire » à respecter. Localiser ces frontières, c'est fournir des repères fiables – remarquablement absents aujourd'hui – pour aider l'humanité à prendre les décisions qui l'empêcheront de courir à sa perte.

La notion de seuil

Le fonctionnement du système Terre est un piège redoutable. D'un côté, ses mécanismes de résilience lui permettent de maintenir pendant un certain temps un état favorable à l'épanouissement de l'humanité malgré des perturbations majeures déjà en cours. Mais de l'autre, ces mêmes mécanismes sont susceptibles d'endormir les sociétés sur un oreiller de paresse en leur donnant un sentiment trompeur de sécurité.

L'équipe scientifique définit les seuils à ne pas franchir comme des transitions non linéaires dans le fonctionnement de « couples » que les humains forment avec les neuf systèmes environnementaux. Exemple : la rétraction abrupte – et selon toute vraisemblance irréversible – de la mer arctique l'été due au réchauffement climatique d'origine humaine.

Une suite de faibles changements progressifs en apparence anodins peut ainsi conduire à déclencher à l'improviste des transitions non linéaires, qui emporteront brutalement le système Terre ou certains de ses sous-systèmes significatifs dans des états délétères, voire catastrophiques pour le bien-être humain. Le concept de frontières planétaires fournit un cadre à l'humanité pour lui éviter de se faire piéger ou endormir.

En outre, le fait de franchir une frontière peut menacer la capacité à éviter d'en franchir d'autres. Typiquement, le changement climatique accélère la perte de la biodiversité. Cela signifie qu'aucune frontière ne peut être dépassée longtemps sans que l'ensemble de l'espace de sécurité de l'humanité ne soit mis en péril. Conclusion : l'humanité doit devenir la gardienne active de toutes les frontières planétaires

– les neuf identifiées et peut-être d'autres à l'avenir – afin d'éviter de graves perturbations sociales et environnementales à long terme.

Or, dans trois cas, le changement climatique, la perte de biodiversité et le cycle de l'azote, la frontière planétaire à ne pas franchir l'est déjà très gravement.

Lacunes et défis

Rockström et ses collègues estiment les données scientifiques suffisantes pour établir une quantification préliminaire des variables qui contrôlent sept frontières. Mais ils ne peuvent pas encore suggérer les niveaux quantitatifs pour les aérosols et la pollution chimique.

Les vingt-neuf chercheurs reconnaissent en outre qu'il n'est pas encore possible de mettre en place un cadre solide et fiable qui délimite les frontières planétaires. Plusieurs d'entre elles présentent une variabilité spatiale et les données sur les impacts (si la frontière est franchie) et les mécanismes de rétroactions impliqués sont trop partielles. Il sera notamment sans doute nécessaire d'associer des estimations de frontières régionales et globales.

Sept chercheurs invités à commenter cette étude dans *Nature* soulignent les déficiences de certains indicateurs. La frontière de 15 % des surfaces terrestres converties en cultures ne tient par exemple pas compte de l'énorme différence entre des pratiques agricoles intensives et biologiques. Et la frontière de 4000 km³ de consommation d'eau par an pour les besoins humains est jugée trop globale alors que certains grands fleuves et lacs ont déjà dépassé le point de non-retour écologique.

Mais tous les scientifiques sont d'accord pour dire qu'il y a urgence à identifier les seuils du système Terre, à analyser les risques et les incertitudes associés à chacun d'entre eux et à appliquer le principe de précaution. ■

BIBLIOGRAPHIE

ROCKSTRÖM J ET COLL. *A Safe Operating Space for Humanity*, Nature, 24 septembre 2009

POUR ALLER PLUS LOIN

www.stockholmresilience.org/planetary-boundaries

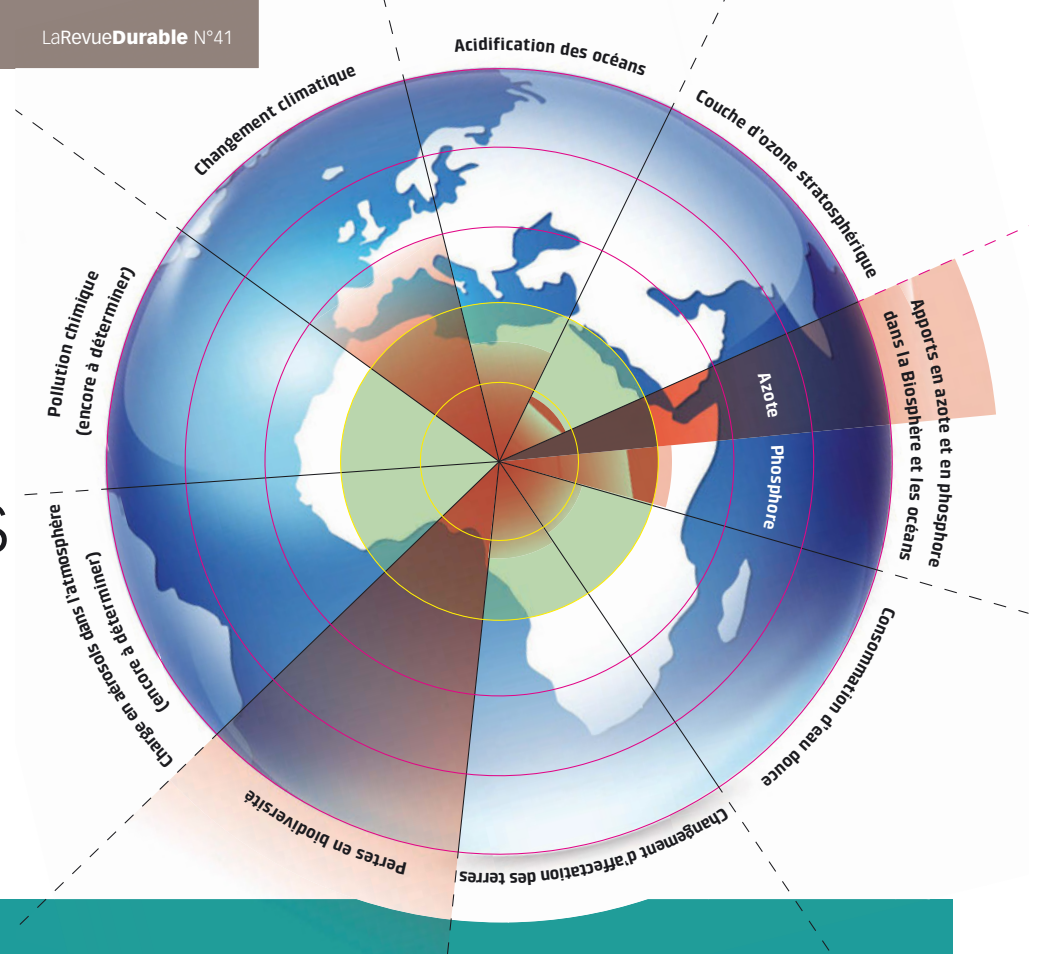
Neuf frontières planétaires

Processus terrestres	Paramètres	Frontière proposée	Etat actuel	Valeur préindustrielle
Changement climatique	a) CO ₂ (parties par million) dans l'atmosphère	350	388	280
	b) Changement de forçage radiatif (watts/m ²)	1	1,5	0
Taux de perte de biodiversité	Taux d'extinction (nombre d'espèces/million d'espèces/an)	10	>100	0,1-1
Cycle de l'azote	Quantité de N ₂ retirée de l'atmosphère pour l'usage humain (millions de tonnes/an)	35	35	0
Cycle du phosphore	Quantité de P qui se déverse dans les océans (millions de tonnes/an)	11	8,5-9,5	~1
Déplétion de la couche d'ozone	Concentration d'ozone (unité Dobson)	276	283	290
Acidification des océans	Ratio global de saturation en aragonite dans l'océan	2,75	2,9	3,44
Utilisation d'eau douce	Consommation d'eau douce par les humains (km ³ /an)	4000	2600	415
Changement d'affectation des terres	Pourcentage de la surface terrestre convertie en terres agricoles	15	11,7	Faible
Charge en aérosols	Concentration totale en particules dans l'atmosphère, sur une base régionale	à déterminer		
Pollution chimique	Par exemple, quantité émise, ou concentration de polluants organiques persistants, plastiques, perturbateurs endocriniens, métaux lourds et déchets radioactifs dans l'environnement global, ou les effets sur les écosystèmes et sur le fonctionnement du système Terre	à déterminer		

Source : Rockström et coll., 2009.

LRD avec Rockström et coll.

Neuf frontières à respecter



20

Couche d'ozone stratosphérique

La couche d'ozone stratosphérique filtre les rayons ultraviolets (UV) du soleil. Si elle rétrécit, des quantités accrues de rayons UV atteignent la surface de la Terre et peuvent élever les taux de cancers de la peau chez les humains et détériorer les systèmes bio-

logiques terrestres et marins. Le trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique est apparu parce que, combinées aux nuages polaires stratosphériques, des concentrations plus fortes de composés d'origine humaine qui détruisent l'ozone ont poussé la

stratosphère antarctique vers un nouveau régime. Heureusement, il semble que les actions entreprises grâce au protocole de Montréal aient permis de prendre le chemin du maintien à l'intérieur de cette frontière.

Biodiversité

L'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, publiée en 2005, conclut que les pertes en biodiversité dues à l'activité humaine ont été plus rapides au cours du dernier demi-siècle qu'à tout autre moment de l'histoire humaine, et que les moteurs de ce changement, qui modifient des services éco-

logiques ne montrent aucun signe de déclin ou, pire, augmentent en intensité. Des projets judicieux pour améliorer les habitats et construire une connectivité appropriée tout en maintenant une forte productivité agricole peuvent ralentir ces forts taux d'extinction. Des recherches sont à mener pour déterminer

si une frontière fondée sur des taux d'extinction suffit, et s'il existe des données fiables pour soutenir cette approche.

Sur ce sujet, voir **Eloge de la biodiversité commune**, LaRevueDurable, n°39, septembre-octobre 2010, pp. 14-58.

Pollution chimique

Les émissions de polluants toxiques persistants tels que les métaux, divers composés organiques et les radionucléides figurent parmi les changements clefs de l'environnement planétaire dus à l'activité humaine. Il existe des exemples d'effets cumulés et synergiques potentiellement irréversibles de ces composés. Les effets les plus préoccupants

sont la baisse de la fertilité, en particulier le potentiel de dommages génétiques permanents. Par exemple, l'absorption et l'accumulation dans l'organisme de niveaux sous-létaux de composés de synthèse induisent une baisse de plus en plus marquée des mammifères marins et des populations d'oiseaux. Pour le moment, il n'est pas possible d'éta-

blir cette frontière. Toutefois, elle est considérée comme suffisamment bien définie pour figurer sur la liste.

Sur ce sujet, voir **Biens de consommation et chimie : privilégier les filières saines**, LaRevueDurable, n°32, décembre 2008-janvier-février 2009, pp. 15-61.

Changement climatique

Un point a été atteint qui rend la perte de glace polaire durant l'été presque à coup sûr irréversible. Dans la perspective de la Terre en tant que système complexe, c'est un exemple de seuil au-dessus duquel de grands mécanismes de rétroaction sont susceptibles de conduire le système Terre vers un état bien plus chaud, riche en gaz à effet de serre, avec des niveaux de mer plus élevés

qu'aujourd'hui. L'affaiblissement ou l'inversion de puits de carbone terrestres, par exemple à cause de la destruction en cours des forêts tropicales, sont un autre exemple de point de basculement interdépendant.

Des données suggèrent que le système Terre, qui a atteint 388 ppm de dioxyde de carbone (CO₂), a déjà dépassé la frontière planétaire

du climat. Une question majeure est de savoir combien de temps il est possible de rester au-delà de cette frontière avant que des changements importants et irréversibles ne deviennent inévitables..

Sur ce sujet, voir **Changement climatique : objectif 350**, LaRevueDurable, n°35, septembre-octobre-novembre 2009, pp. 7-59.

Acidification des océans

Environ un quart du CO₂ que l'humanité émet se dissout dans les océans. Là, il forme de l'acide carbonique qui altère la chimie océanique et diminue le pH de l'eau de surface. Une acidité accrue réduit la quantité d'ions carbonate disponibles, élément essentiel des coquillages et des squelettes d'organismes tels que les coraux et certaines espèces de crustacés

et de plancton. De quoi sérieusement changer l'écologie des océans et potentiellement conduire à des réductions massives de stocks de poissons. Comparé à la période préindustrielle, l'acidité à la surface des océans a augmenté de 30 %.

L'acidification des océans est un exemple clair de frontière qui, si elle est traversée,

enclenchera de très fortes modifications des écosystèmes marins, avec des conséquences sur la planète entière. C'est également un bon exemple de la manière dont les frontières sont fortement connectées entre elles : le CO₂ atmosphérique est la variable qui définit les seuils du climat et de l'acidification des océans.

Consommation d'eau douce et cycle hydrologique global

La stabilité du cycle de l'eau douce est à la fois un prérequis majeur pour rester à l'intérieur de la frontière d'un climat stable et fortement affectée par le changement climatique. La pression humaine est désormais la force dominante qui détermine la fonction et la distribution des systèmes globaux d'eau douce. Les effets, dramatiques, incluent des changements d'écoulement des rivières à

l'échelle globale et des transferts de flux de vapeur dus à des changements d'affectation des terres.

L'eau devient de plus en plus rare et, d'ici 2050, il est probable qu'environ un demi-milliard de personnes passeront dans la catégorie en situation de stress hydrique. Etablir une frontière de l'eau liée à la consommation

d'eau douce devrait permettre de maintenir la résilience globale du système Terre et éviter de traverser des seuils locaux et régionaux en aval.

Sur ce sujet, voir **L'eau est l'affaire de tous**, LaRevueDurable, n° 7, octobre-novembre 2003, pp. 11-59.

Changement d'affectation des terres

La terre est convertie pour l'usage humain partout sur la planète. Des forêts, marais et autres types de végétation sont surtout transformés en terres agricoles. Cette utilisation de la terre est une force motrice qui réduit la biodiversité et a des impacts sur les flux d'eau, le cycle du carbone et d'autres

cycles. Le changement d'affectation des terres intervient aux échelles locale et régionale mais, lorsque agrégé, il semble avoir un impact sur le système Terre à l'échelle globale. Un défi majeur pour établir une frontière liée à l'utilisation des terres est de refléter non seulement les quantités néces-

saires de terres à l'état naturel et exploitées, mais aussi leurs fonction, qualité et distribution spatiale.

Sur ce sujet, voir **La petite agriculture familiale peut nourrir le monde**, LaRevueDurable, n° 37, mars-avril-mai 2010, pp. 15-57.

Apports en azote et en phosphore dans la Biosphère et les océans

La modification humaine du cycle de l'azote est encore plus prononcée que la modification du cycle du carbone. Les activités humaines convertissent désormais plus d'azote (N₂) de l'atmosphère en formes réactives que tous les processus terrestres sur Terre combinés. La plus grande part de ce nouvel azote réactif pollue les cours d'eau et les

zones côtières, est émis dans l'atmosphère sous diverses formes ou s'accumule dans la Biosphère terrestre. Les plantes absorbent une proportion relativement faible des fertilisants appliqués aux systèmes de production de nourriture. Une fraction significative de l'azote et du phosphore s'en va dans la mer, et peut pousser les systèmes marins

et aquatiques au-delà de leurs seuils de fonctionnement. Un exemple concret de cet effet est le déclin de capture de crevettes dans le golfe du Mexique dû à l'hypoxie à cause des fertilisants que les rivières transportent du Midwest des Etats-Unis.

Charge en aérosols dans l'atmosphère

La charge en aérosols (les particules dans l'atmosphère) est considérée comme une frontière planétaire pour deux raisons principales : l'influence des aérosols sur le système climatique à une échelle régionale et globale ; leurs effets néfastes sur la santé humaine. Sans aérosols dans l'atmosphère, il n'y aurait pas de nuages. La plupart des nuages et des aérosols refroidissent la planète en réfléchissant la lumière du soleil

vers l'espace. Certaines particules (comme la suie) ou des nuages fins hauts dans le ciel agissent comme des gaz à effet de serre qui réchauffent la planète. En outre, les aérosols affectent la circulation de la mousson et les systèmes de vents à l'échelle globale. Les particules ont aussi des effets défavorables sur la santé humaine : elles provoquent environ 800 000 morts prématurées dans le monde par an. Toutes ces relations sont bien

établies, mais les liens de causalité (en particulier ceux qui concernent les effets sur la santé) restent à déterminer. Il n'est pas encore possible de déterminer une valeur seuil spécifique à laquelle des effets globaux auront lieu ; mais la charge en aérosols est si centrale aux santé du climat et des humains qu'elle est incluse parmi les frontières.