

Limites planétaires

Les limites planétaires constituent un cadre décrivant les limites des impacts des activités humaines sur le [système terrestre](#) . Au-delà de ces limites, l'environnement pourrait ne plus être en mesure de continuer à s'autoréguler. Cela signifierait que le système terrestre sortirait de la période de stabilité de l' [Holocène](#) , durant laquelle la société humaine s'est développée. ^{[2][3][4]}

Ces neuf limites sont [le changement climatique](#) , [l'acidification des océans](#) , l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, les flux biogéochimiques dans le [cycle de l'azote](#) , l'utilisation excessive [d'eau douce à l'échelle mondiale](#), [le changement du système terrestre](#) , l'érosion de l'intégrité de la biosphère, la pollution chimique et la charge [en aérosols atmosphériques](#) .

Ce cadre s'appuie sur des données scientifiques démontrant que les activités humaines, en particulier celles des sociétés industrialisées depuis la [révolution industrielle](#) , sont devenues le principal moteur du changement environnemental mondial. Selon ce cadre, « transgresser une ou plusieurs limites planétaires peut être délétère, voire catastrophique, en raison du risque de franchissement de seuils susceptibles de déclencher des changements environnementaux brutaux et non linéaires, à l'échelle continentale comme à l'échelle planétaire. » ^[2]

L'élément [normatif](#) de ce cadre est que [les sociétés humaines](#) ont pu prospérer dans les conditions climatiques et écologiques relativement stables de l' [Holocène](#) . Dans la mesure où ces limites des processus du système terrestre n'ont pas été franchies, elles marquent la « zone de sécurité » pour les sociétés humaines sur la planète. ^[3] Les partisans du cadre des limites planétaires proposent un retour à ce système environnemental et climatique, par opposition à la création délibérée d'un climat plus favorable par la science et la technologie humaines. Ce concept ne tient pas compte de la manière dont les humains ont massivement modifié les conditions écologiques pour mieux s'adapter à leurs besoins. L'Holocène climatique et écologique que ce cadre considère comme une « zone de sécurité » n'implique pas d'agriculture industrielle massive. Ce cadre appelle donc à réévaluer la manière de nourrir les populations modernes.

Le concept a depuis acquis une influence au sein de la communauté internationale (par exemple, [la Conférence des Nations Unies sur le développement durable](#)), y compris auprès des gouvernements à tous les niveaux, des organisations internationales, de la société civile et de la communauté scientifique. ^[5] Le cadre se

compose de neuf processus de changement global. En 2009, selon [Rockström](#) et d'autres, trois limites étaient déjà franchies (perte de biodiversité, changement climatique et cycle de l'azote), tandis que d'autres étaient en danger imminent d'être franchies. ^[6]

En 2015, plusieurs scientifiques du groupe initial ont publié une mise à jour, intégrant de nouveaux co-auteurs et de nouvelles analyses basées sur des modèles. Selon cette mise à jour, quatre limites ont été franchies : le changement climatique, la perte d'intégrité de la biosphère, les changements du système terrestre et l'altération des cycles biogéochimiques (phosphore et azote). ^[7] Les scientifiques ont également rebaptisé la limite « [Perte de biodiversité](#) » en « Modification de l'intégrité de la biosphère » afin de souligner que non seulement le nombre d'espèces, mais aussi le fonctionnement de la biosphère dans son ensemble sont importants pour la stabilité du système terrestre. De même, la limite « Pollution chimique » a été renommée « Introduction de nouvelles entités », élargissant ainsi le champ d'application à la prise en compte de différents types de matériaux d'origine humaine qui perturbent les processus du système terrestre.

En 2022, sur la base de la littérature disponible, l'introduction de nouvelles entités a été conclue comme étant la 5e limite planétaire transgressée. ^[8] Le changement d'eau douce a été conclu comme étant la 6e limite planétaire transgressée en 2023. ^[1]

Aperçu et principes du cadre

L'idée de base du cadre des limites planétaires est que le maintien de la résilience observée du système terrestre au cours de l' [Holocène](#) est une condition préalable à la poursuite par l'humanité d'un développement social et économique à long terme. ^[9] Le cadre des limites planétaires contribue à la compréhension de [la durabilité](#) mondiale car il met en lumière une échelle planétaire et une longue période de temps. ^[7]

Le cadre décrit neuf « systèmes de soutien de la vie planétaire » essentiels au maintien d'un « état [holocène](#) souhaité » et tente de quantifier jusqu'où sept de ces systèmes ont déjà été poussés. ^[6] Des limites ont été définies pour aider à définir un « espace sûr pour le développement humain », ce qui constitue une amélioration par rapport aux approches visant à minimiser [les impacts humains](#) sur la planète. ^[9]

Français Le cadre est basé sur des preuves scientifiques que les actions humaines, en particulier celles des sociétés industrialisées depuis la [révolution industrielle](#), sont devenues le principal moteur du changement environnemental mondial. Selon le cadre, « transgresser une ou plusieurs limites planétaires peut être délétère, voire catastrophique, en raison du risque de franchir des seuils qui déclencheront [des changements environnementaux](#) non linéaires et brusques dans les systèmes à l'échelle continentale à l'échelle planétaire. » ^[9] Le cadre comprend neuf processus de

changement global. En 2009, deux limites étaient déjà franchies, tandis que d'autres étaient en danger imminent de l'être. ^[6] Des estimations ultérieures ont indiqué que trois de ces limites – [le changement climatique](#) , la perte de [biodiversité](#) et la limite des flux biogéochimiques – semblent avoir été franchies.

Les scientifiques ont souligné comment le franchissement des limites augmente le risque de perturbation fonctionnelle, voire d'effondrement, des systèmes biophysiques terrestres, ce qui pourrait être catastrophique pour le bien-être humain. Tout en soulignant l'incertitude scientifique, ils ont indiqué que le franchissement de ces limites pourrait « déclencher des rétroactions susceptibles d'entraîner le franchissement de seuils réduisant considérablement la capacité de retour à des niveaux de sécurité ». Ces limites n'étaient que des « estimations approximatives, entourées de grandes incertitudes et de lacunes dans les connaissances », dont les interactions sont complexes et encore mal comprises. ^[9]

Le cadre des limites planétaires pose les bases d'une approche évolutive de la gouvernance et de la gestion, s'éloignant des analyses essentiellement sectorielles des limites de la croissance visant à minimiser [les externalités](#) négatives , vers l'estimation de l'espace sûr pour le développement humain. ^[10] Les limites planétaires délimitent, en quelque sorte, le « terrain de jeu planétaire » pour l'humanité si l'on veut éviter [des changements environnementaux majeurs induits par l'homme à l'échelle mondiale](#). ^[7]

Auteurs

Les auteurs de ce cadre étaient un groupe de [scientifiques du système terrestre](#) et de l'environnement en 2009 dirigé par [Johan Rockström](#) du [Stockholm Resilience Centre](#) et [Will Steffen](#) de l' [Australian National University](#) . Ils ont collaboré avec 26 universitaires de renom, dont le lauréat [du prix Nobel Paul Crutzen](#) , le climatologue [du Goddard Institute for Space Studies James Hansen](#) , l'océanographe [Katherine Richardson](#) , la géographe [Diana Liverman](#) et le conseiller climatique en chef de [la chancelière allemande Hans Joachim Schellnhuber](#) .

La plupart des scientifiques contributeurs ont participé à l'élaboration de la stratégie du [Partenariat pour la science du système terrestre](#) , précurseur du réseau international de recherche sur le changement climatique [Future Earth](#) . Ce groupe souhaitait définir un « espace de travail sûr pour l'humanité » pour la communauté scientifique au sens large, condition préalable au [développement durable](#) .

Neuf limites

Seuils et points de basculement

L'étude de 2009 a identifié neuf limites planétaires et, s'appuyant sur les connaissances scientifiques actuelles, les chercheurs ont proposé des quantifications pour sept d'entre elles. Les voici :

1. changement climatique (concentration [de CO₂](#) dans l'atmosphère < 350 ppm et/ou une variation maximale de +1 W/m² du [forçage radiatif](#)) ;
2. [acidification des océans](#) (état moyen de saturation de l'eau de mer de surface par rapport à l'[aragonite](#) ≥ 80 % des niveaux préindustriels) ;
3. [appauvrissement de l'ozone stratosphérique](#) (réduction de moins de 5 % de l'[O₃](#) atmosphérique total par rapport au niveau préindustriel de 290 [unités Dobson](#)) ;
4. flux [biogéochimiques dans le cycle de l'azote \(N\)](#) (limiter la fixation industrielle et agricole de N₂ à 35 Tg N/an) et [dans le cycle du phosphore \(P\)](#) (l'apport annuel de P dans les océans ne doit pas dépasser 10 fois l' [altération](#) naturelle de fond du P) ;
5. utilisation mondiale de l'eau douce (< 4 000 km³ /an d'utilisation consommatrice des ressources de ruissellement) ;
6. changement du système terrestre (< 15 % de la surface terrestre libre de glace sous terres cultivées) ;
7. l'érosion de l'intégrité de la biosphère (un taux annuel de perte de diversité biologique inférieur à 10 extinctions par million d'espèces).
8. [pollution chimique](#) (introduction de nouvelles entités dans l'environnement).

Pour un processus dans le cadre des limites planétaires, les scientifiques n'ont pas spécifié de quantification des limites globales :

9. [charge atmosphérique en aérosols](#) ;

La quantification des limites planétaires individuelles repose sur la dynamique observée des processus en interaction du système terrestre inclus dans le cadre. Les variables de contrôle ont été choisies car, ensemble, elles offrent un moyen efficace de suivre l'évolution d'origine humaine par rapport aux conditions de l'Holocène.

Pour certains processus dynamiques de la Terre, les données historiques montrent [des seuils](#) clairs entre des conditions relativement stables. Par exemple, [les périodes glaciaires](#) passées montrent que, lors des pics glaciaires, la concentration atmosphérique de CO₂ était d'environ 180 à 200 ppm. Durant les périodes interglaciaires (y compris l'Holocène), la concentration de CO₂ a fluctué autour de 280 ppm. Pour connaître [les conditions climatiques passées](#) avec une atmosphère contenant plus de 350 ppm de CO₂, les scientifiques doivent remonter à environ 3 millions d'années. Les [archives paléolithiques](#) des changements climatiques, écologiques et biogéochimiques montrent que le système terrestre a connu [des points de basculement](#), lorsqu'une très faible augmentation d'une variable de contrôle (comme

le CO₂) déclenche une modification plus importante, potentiellement catastrophique, de la variable de réponse (réchauffement climatique) par le biais [de rétroactions](#) dans le système terrestre naturel lui-même.

Pour plusieurs processus du cadre des limites planétaires, il est difficile de localiser les points individuels marquant le décalage entre les seuils et les conditions de type Holocène. Cela s'explique par la complexité du système terrestre et la base de données scientifiques encore partielle et fragmentée. Au lieu de cela, le cadre des limites planétaires identifie de nombreux seuils du système terrestre à plusieurs échelles qui seront influencés par l'augmentation des variables de contrôle. ^[6] On peut citer comme exemples les changements dans le comportement [de la mousson](#) liés aux limites planétaires de la [charge en aérosols](#) et [de l'utilisation de l'eau douce](#) .

Limites planétaires (telles que définies en 2023) [\[1\]](#)

processus du système terrestre	Variable de contrôle ^[1]	Valeur limite en 2023	Valeur « actuelle » (c'est-à-dire pour l'année fournie dans la source)	La limite est-elle désormais dépassée au-delà des valeurs de 2023 ? (basé sur la valeur « actuelle »)	Valeur de base préindustrielle de l'Holocène
1. Changement climatique	Concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (ppm en volume) ^[11] <i>Voir aussi : Point de basculement (climatologie)</i>	350	417 ^[12]	Oui	280
	Forçage radiatif anthropique total au sommet de	1.0	2.91 ^[12]	Oui	0

	l'atmosphère (W/m^2) depuis le début de la révolution industrielle (~1750)				
2. Modification de l'intégrité de la biosphère ^[1]	<i>Diversité génétique</i> : taux d'extinction mesuré en E/MSY (extinctions par million d'espèces-années)	<10 E/MSY mais avec un objectif ambitieux d'environ 1 E/MSY (taux de fond supposé de perte d'extinction)	>100 E/MSY	Oui	1 E/MSY
	<i>Diversité fonctionnelle</i> : énergie disponible pour les écosystèmes (NPP ^[a1]) (% HANPP ^[a2])	HANPP (en milliards de tonnes de C an ⁻¹) < 10 % de la NPP de l'Holocène préindustriel, c'est-à-dire > 90 % restant pour soutenir la fonction de la biosphère	30 % HANPP	Oui	1,9 % (variabilité 2σ de la moyenne du siècle de la PPN de l'Holocène préindustriel)
3. Biogéochimie	Phosphate global : flux de P des systèmes d'eau douce vers l'océan ; régional : flux de P des engrais vers les sols érodables (Tg de P an ⁻¹)	<i>Phosphate global</i> : 11 Tg de P an ⁻¹ ; <i>régional</i> : 6,2 Tg de P an ⁻¹ extraits et appliqués sur les sols érodables (agricoles).	<i>Global</i> : 22 Tg de P an ⁻¹ ; ^[13] <i>régional</i> : 17,5 Tg de P an ⁻¹	Oui	0
	Azote global : fixation industrielle et intentionnelle de N (Tg de N an ⁻¹)	62	190	Oui	0

4. Acidification des océans	État moyen global de saturation du carbonate de calcium dans l'eau de mer de surface (unités oméga)	2,75	2.8	Non	3.44
5. Utilisation du sol	Une partie des forêts est restée intacte (pourcentage) ^[7]	75 de toutes les forêts, dont 85 de la forêt boréale, 50 des forêts tempérées et 85 des forêts tropicales ^[7]	Mondial : 60 ^[7]	Oui	100
6. Changement d'eau douce	Eau bleue : perturbation du débit de l'eau bleue induite par l'homme	Limite supérieure (95e percentile) de la superficie terrestre mondiale avec des écarts supérieurs à ceux de l'époque préindustrielle, Eau bleue : 10,2 %	18,2%	Oui	9,4%
	Eau verte : perturbation anthropique de l'eau disponible pour les plantes (% de la superficie terrestre avec écarts par rapport à la variabilité préindustrielle)	11,1%	15,8%	Oui	9,8%
7. Appauvrissement	Concentration d'ozone	276	284,6	Non	290

sement de la couche d'ozone	stratosphérique (unités Dobson)				
8. Aérosols atmosphé riques	Différence interhémisphérique dans la profondeur optique des aérosols (AOD)	0,1 (différence interhémisphér ique annuelle moyenne)	0,076	Non	0,03
9. Nouvelles entités	Pourcentage de produits chimiques synthétiques rejetés dans l'environnement sans tests de sécurité adéquats	0	Transgress é	Oui	0
1. Production primaire naturelle 2. Appropriation humaine de la production primaire naturelle					

« Espaces opérationnels sécurisés »

Le cadre des limites planétaires propose une plage de valeurs pour ses variables de contrôle. Cette plage est censée couvrir le seuil entre un « espace opérationnel sûr » où une dynamique de type Holocène peut être maintenue et un monde hautement incertain et peu prévisible où les changements du système terrestre augmentent probablement les risques pour les sociétés. La *limite* est définie comme la limite inférieure de cette plage. Si ces limites sont constamment franchies, le monde s'enfonce davantage dans une zone dangereuse. ^[6]

Il est difficile de restaurer un « espace de fonctionnement sûr » pour l'humanité, tel que décrit par le concept de limite planétaire. Même si les changements biophysiques passés pouvaient être atténués, les paradigmes dominants du développement social et économique semblent largement indifférents aux risques imminents de catastrophes environnementales de grande ampleur déclenchées par l'activité humaine. ^{[9][14]} Les limites juridiques peuvent contribuer à contrôler les activités humaines, mais leur efficacité dépend de la volonté politique de les établir et de les faire respecter. ^[15]

Interaction entre les frontières

Comprendre le système terrestre revient fondamentalement à comprendre les interactions entre les processus de changement environnemental. Les limites planétaires sont définies en référence aux conditions dynamiques du système terrestre, mais les discussions scientifiques sur les relations entre ces différentes limites planétaires sont souvent confuses, tant sur le plan philosophique

qu'analytique. Une définition plus claire des concepts et termes fondamentaux pourrait apporter des éclaircissements.

Il existe de très nombreuses interactions entre les processus du cadre des limites planétaires. ^{[7][3]} Bien que ces interactions puissent créer des rétroactions stabilisatrices et déstabilisatrices au sein du système terrestre, les auteurs suggèrent qu'une limite planétaire transgressée réduira l'espace de fonctionnement sûr pour les autres processus du cadre plutôt que de l'élargir au-delà des limites proposées. ^[3] Ils donnent l'exemple d'un déplacement vers le bas de la limite [d'utilisation des terres](#) si la limite d'eau douce est franchie, rendant les terres arides et impropres à l'agriculture. À l'échelle régionale, les ressources en eau pourraient diminuer en Asie si [la déforestation](#) se poursuit en [Amazonie](#). Cette façon de concevoir les interactions passe de la définition biophysique des limites du cadre, basée sur des conditions proches de l'Holocène, à une définition anthropocentrique (demande de terres agricoles). Malgré ce glissement conceptuel, la prise en compte des interactions connues du système terrestre à toutes les échelles suggère la nécessité d'une « extrême prudence avant d'approcher ou de transgresser une limite planétaire individuelle ». ^[3]

Français Un autre exemple concerne [les récifs coralliens](#) et [les écosystèmes marins](#) : en 2009, des chercheurs ont montré que, depuis 1990, la calcification dans les récifs de la [Grande Barrière](#) qu'ils ont examinés a diminué à un rythme sans précédent au cours des 400 dernières années (14 % en moins de 20 ans). ^[16] Leurs preuves suggèrent que le stress thermique croissant et le déclin de l'état de saturation de l'océan en [aragonite](#) rendent difficile le dépôt de carbonate de calcium par les coraux récifaux. De multiples facteurs de stress, tels que l'augmentation des charges en nutriments et [la pression de la pêche](#), déplacent les coraux vers des états écosystémiques moins souhaitables. ^[17] L'acidification des océans modifiera considérablement la répartition et l'abondance de toute une gamme de vie marine, en particulier les espèces « qui construisent des squelettes, des coquilles et des tests de carbonate de calcium biogénique. L'augmentation des températures, les niveaux [de rayonnement UV](#) de surface et l'acidité des océans stressent tous [le biote](#) marin, et la combinaison de ces stress pourrait bien provoquer des perturbations dans l'abondance et la diversité des systèmes biologiques marins qui vont bien au-delà des effets d'un seul facteur de stress agissant seul. " ^{[18][19]}

Propositions de limites nouvelles ou élargies depuis 2012

En 2012, [Steven Running](#) a suggéré une dixième limite, [la production primaire](#) mondiale nette annuelle de toutes [les plantes terrestres](#), comme une mesure facilement déterminable intégrant de nombreuses variables qui donneront « un signal clair sur la santé des écosystèmes ». ^{[20][21][22]}

En 2015, un deuxième article a été publié dans [la revue Science](#) afin de mettre à jour le concept de limites planétaires. ^[17] Cette mise à jour concluait que quatre limites avaient été transgressées : le climat, la biodiversité, l'utilisation des terres et les cycles biogéochimiques. L'article de 2015 mettait l'accent sur les interactions entre les neuf limites et identifiait le changement climatique et [la perte d'intégrité de la biodiversité](#) comme des « limites fondamentales » d'une importance capitale pour le cadre, car les interactions entre le climat et la biosphère définissent scientifiquement les conditions du système terrestre. ^[23]

En 2017, certains auteurs ont avancé que les systèmes marins étaient sous-représentés dans le cadre. Ils ont proposé d'inclure les [fonds marins](#) comme composante de la limite de changement de la surface terrestre. Ils ont également écrit que le cadre devrait tenir compte des « changements dans les schémas de mélange vertical et [de circulation océanique](#) ». ^[23]

Les travaux ultérieurs sur les limites planétaires commencent à relier ces seuils à l'échelle régionale. ^[24]

Débat et recherches complémentaires par frontière

Voir aussi : [Liste des problèmes environnementaux](#)

Changement climatique

Voir aussi : [Effets du changement climatique](#)

Une étude de 2018 remet en question l'adéquation des efforts visant à limiter le réchauffement à 2 °C au-dessus des températures préindustrielles, comme le prévoit l'[Accord de Paris](#). ^[24] Les scientifiques évoquent la possibilité que, même si [les émissions de gaz à effet de serre](#) étaient [considérablement réduites pour limiter le réchauffement à 2 °C](#), cela pourrait dépasser le « seuil » à partir duquel les [rétroactions climatiques](#) auto-alimentées ajoutent un réchauffement supplémentaire jusqu'à ce que le système [climatique](#) se stabilise dans un [état de serre](#). Cela rendrait certaines régions du monde inhabitables, élèverait le niveau de la mer jusqu'à 60 mètres (200 pieds) et les températures de 4 à 5 °C (7,2 à 9,0 °F) à des niveaux supérieurs à ceux de toute période [interglaciaire](#) des 1,2 million d'années écoulées. ^[25]

Modification de l'intégrité de la biosphère

Voir aussi : [Perte de biodiversité](#), [Déforestation](#), [Déclin des populations d'insectes](#) et [Extinction de l'Holocène](#)

Selon le biologiste [Cristián Samper](#), une « limite exprimant la probabilité de disparition de familles d'espèces au fil du temps refléterait mieux nos impacts potentiels sur l'avenir de la vie sur Terre ». ^[26] La limite de biodiversité a également été critiquée pour ne considérer la biodiversité qu'en termes de taux d'extinction. Or, le taux d'extinction

mondial a été très variable au cours de l'histoire de la Terre ; son utilisation comme seule variable de biodiversité peut donc s'avérer d'une utilité limitée. ^[23]

Azote et phosphore

Le biogéochimiste [William Schlesinger](#) estime qu'attendre d'approcher une certaine limite suggérée pour les dépôts d'azote et autres pollutions ne fera que nous permettre de continuer jusqu'à un point où il sera trop tard. Il affirme que la limite suggérée pour le phosphore n'est pas tenable et épuiserait les réserves connues de phosphore en moins de 200 ans. ^[27]

Le [chimiste océanographe](#) Peter Brewer se demande s'il est « véritablement utile d'établir une liste de limites environnementales sans planifier sérieusement leur mise en œuvre... elles risquent de devenir un nouveau bâton pour harceler les citoyens. La perturbation du cycle mondial de l'azote en est un exemple clair : il est probable qu'une grande partie de la population mondiale ne serait pas en vie aujourd'hui sans la production artificielle d'engrais. Comment de tels enjeux éthiques et économiques peuvent-ils être associés à un simple appel à fixer des limites ? ... l'alimentation n'est pas facultative. » ^[28]

Le [pic de phosphore](#) est un concept qui décrit le moment où le taux de production mondial maximal [de phosphore](#) est atteint. Le phosphore est une ressource rare et limitée sur Terre, et les moyens de production autres que l'exploitation minière sont impossibles en raison de son cycle environnemental non gazeux. ^[29] Selon certains chercheurs, les réserves terrestres de phosphore devraient être complètement épuisées d'ici 50 à 100 ans et le pic de phosphore devrait être atteint vers 2030. ^{[30][31]} Cependant, des données récentes montrent que si les applications de phosphore au sol sont adaptées à l'optimum agronomique pour le rendement des cultures, il faudrait plus de 500 ans pour épuiser les réserves de phosphore actuellement économiquement viables. ^[32]

Acidification des océans

L'[acidité de surface des océans](#) est clairement liée aux limites du changement climatique, puisque la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est également la variable de contrôle sous-jacente de la limite d'acidification des océans. ^[33]

Le chimiste océanique Peter Brewer pense que « l'acidification des océans a des impacts autres que de simples changements de pH, et ceux-ci peuvent également nécessiter des limites. » ^[28]

Changement du système foncier

Partout sur la planète, les forêts, les zones humides et d'autres types de végétation sont convertis à l'agriculture et à d'autres [usages des terres](#), ce qui impacte les cycles de l'eau douce, du carbone et d'autres cycles, et réduit la biodiversité. ^[33] En 2015, la limite était définie comme 75 % des [forêts](#) restées intactes, dont 85 % des [forêts boréales](#), 50 % des [forêts tempérées](#) et 85 % des [forêts tropicales](#). La limite est franchie car seulement 62 % des forêts étaient restées intactes en 2015. ^[7]

La limite d'utilisation des terres a été critiquée comme suit : « La limite de 15 % [de changement d'affectation des terres](#) est, en pratique, une directive politique prématurée qui dilue la proposition scientifique globale des auteurs. Les auteurs pourraient plutôt envisager une limite à la [dégradation](#) ou à la perte des sols. Ce serait un indicateur plus valable et plus utile de l'état de santé des terres. » ^[34]

Eau douce

Le [cycle de l'eau douce](#) est une autre limite fortement affectée par le changement climatique. ^[33] [La surexploitation](#) de l'eau douce se produit lorsqu'une ressource en eau est exploitée à un rythme supérieur au taux de recharge. [La pollution de l'eau](#) et [l'intrusion d'eau salée](#) peuvent également transformer une grande partie des eaux souterraines et des lacs de la planète en ressources limitées, avec des débats sur le « [pic](#) d'utilisation de l'eau » similaires à ceux [du pétrole](#). ^{[35][36]}

L'hydrologue David Molden a déclaré en 2009 que les limites planétaires sont une nouvelle approche bienvenue dans le débat sur les « [limites de la croissance](#) », mais a déclaré qu'« une limite mondiale sur la consommation d'eau est nécessaire, mais la limite planétaire suggérée de 4 000 kilomètres cubes par an est trop généreuse ». ^[37]

Eau verte et bleue

Une étude conclut que la limite « Utilisation de l'eau douce » devrait être renommée « Changement de l'eau douce », composée des composantes « eau verte » et « eau bleue ». ^[38] « Eau verte » fait référence aux perturbations des précipitations terrestres, de l'évaporation et de l'humidité du sol. ^[38] [La pénurie d'eau](#) peut avoir des effets substantiels sur l'agriculture. ^{[39][40]} Lors de la mesure et de la projection de la pénurie d'eau dans [l'agriculture pour les scénarios de changement climatique](#), « l'eau verte » et « l'eau bleue » sont toutes deux pertinentes. ^{[39][40]}

En avril 2022, des scientifiques ont proposé et évalué de manière préliminaire « l'eau verte » dans le [cycle de l'eau](#) comme une limite planétaire probablement transgressée, telle que [mesurée par l'écart d'humidité du sol de la zone racinaire par rapport à la variabilité de l'Holocène](#). ^{[38][41]}

Appauvrissement de la couche d'ozone

Article principal : [Appauvrissement de la couche d'ozone](#)

La couche d'ozone stratosphérique filtre les rayons ultraviolets (UV) du Soleil , qui, autrement, endommageraient les systèmes biologiques. Les mesures prises après le Protocole de Montréal semblent avoir permis de maintenir la planète dans des limites sûres. ^[33]

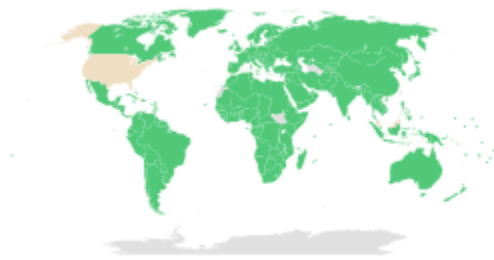
Le lauréat du prix Nobel de chimie Mario Molina affirme que « cinq pour cent est une limite raisonnable pour un appauvrissement acceptable de la couche d'ozone, mais cela ne représente pas un point de basculement ». ^[42]

Aérosols atmosphériques

Chaque année dans le monde, les particules d'aérosols provoquent environ 800 000 décès prématurés dus à la pollution atmosphérique . ^[43] La charge en aérosols est suffisamment importante pour être incluse dans les limites planétaires, mais il n'est pas encore clair si une mesure de seuil de sécurité appropriée peut être identifiée. ^[33]

Nouvelles entités (pollution chimique)

Voir aussi : Déchets chimiques



États parties à la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants

Certains produits chimiques, tels que les polluants organiques persistants , les métaux lourds et les radionucléides , ont des effets additifs et synergiques potentiellement irréversibles sur les organismes biologiques, réduisant la fertilité et entraînant des dommages génétiques permanents . Les absorptions sublétales réduisent considérablement les populations d'oiseaux et de mammifères marins. Cette limite semble importante, bien qu'elle soit difficile à quantifier. ^{[33][8][44]} En 2019, il a été suggéré que de nouvelles entités pourraient inclure des organismes génétiquement modifiés , des pesticides et même l'intelligence artificielle . ^[5]

Un émulateur bayésien pour les polluants organiques persistants a été développé et peut potentiellement être utilisé pour quantifier les limites de la pollution chimique. ^[45] À ce jour, les niveaux critiques d'exposition aux biphényles polychlorés (PCB) au-dessus desquels des événements de mortalité massive de mammifères marins sont susceptibles de se produire, ont été proposés comme limite planétaire de pollution chimique. ^[46]

Il existe au moins 350 000 substances chimiques artificielles dans le monde. Elles proviennent [des plastiques](#) , [des pesticides](#) , [des produits chimiques industriels](#) , des produits de consommation, [des antibiotiques](#) et autres [produits pharmaceutiques](#) . Elles ont pour la plupart des effets négatifs sur la santé planétaire. Leur production a été multipliée par 50 depuis 1950 et devrait tripler d'ici 2050. À eux seuls, les plastiques contiennent plus de 10 000 substances chimiques et créent d'importants problèmes. Les chercheurs appellent à limiter la production chimique et à adopter [une économie circulaire](#) , c'est-à-dire des produits [réutilisables](#) et [recyclables](#) . ^[47]

En janvier 2022, un groupe de scientifiques a conclu que cette limite planétaire était déjà dépassée, ce qui met en péril la stabilité du système terrestre. ^[48] Ils ont intégré les informations de la littérature sur la façon dont la production et la libération d'un certain nombre de nouvelles entités, y compris [les plastiques](#) et [les produits chimiques dangereux](#) , ont rapidement augmenté au cours des dernières décennies avec un impact significatif sur les processus planétaires. ^[8]

En août 2022, des scientifiques ont conclu que la limite (globalement transgressée) servait de réserve à de multiples limites potentielles pour les NE, signalant que [la pollution aux PFAS](#) était l'une de ces nouvelles limites. Ils ont montré que les concentrations de ces « [produits chimiques éternels](#) » dans [l'eau de pluie](#) sont omniprésentes, et souvent largement, supérieures aux valeurs limites de sécurité recommandées dans le monde entier. ^{[49][50]} Des initiatives sont en cours pour restreindre et remplacer leur utilisation. ^[49]

Concepts connexes

Intégrité planétaire

Voir aussi : [Objectifs de développement durable § Faiblesse en matière de durabilité environnementale](#)

L'intégrité planétaire est également appelée *systèmes de maintien de la vie sur Terre* ou *intégrité écologique* . ^{[51]: 140} Les chercheurs ont souligné que l'intégrité planétaire « doit être maintenue pour [une durabilité](#) à long terme ». ^{[51]: 140} Le terme *intégrité* fait référence à [la santé écologique](#) dans ce contexte. ^[52] Le concept d'intégrité planétaire est lié au concept de limites planétaires. ^[53]

Un *groupe d'experts sur l'intégrité écologique* a défini *l'intégrité écologique* comme suit en 1998 : « Les écosystèmes sont intègres lorsque leurs composantes natives (plantes, animaux et autres organismes) et leurs processus (tels que la croissance et la reproduction) sont intacts. » ^[54]

Il existe de nombreux [impacts humains négatifs sur l'environnement](#) qui entraînent une réduction de l'intégrité planétaire. ^{[51]: 142} Par exemple, la [perte actuelle de biodiversité](#)

menace l'intégrité écologique à l'échelle mondiale. ^{[51]:140} Les [Objectifs de développement durable](#) pourraient servir de mécanisme d'orientation pour remédier à la perte actuelle de l'intégrité planétaire. ^{[51]:142}

Les « Limites de la croissance » (1972) et la théorie de Gaïa

L'idée qu'il existe des limites à la charge que les activités humaines font peser sur notre planète existe depuis longtemps. Le cadre des Limites Planétaires reconnaît l'influence de l'étude de 1972, [Les Limites de la Croissance](#), qui présentait un modèle dans lequel la croissance [exponentielle](#) de [la population mondiale](#), [l'industrialisation](#), [la pollution](#), la production alimentaire et [l'épuisement des ressources](#) dépassent la capacité de la technologie à accroître la disponibilité des ressources. ^[55] Par la suite, le rapport a été largement rejeté, en particulier par les économistes et les hommes d'affaires, ^[56] et il a souvent été affirmé que l'histoire avait prouvé que les projections étaient erronées. ^[57] En 2008, Graham Turner, de l' [Organisation de Recherche Scientifique et Industrielle du Commonwealth](#) (CSIRO), a publié « Une comparaison des *Limites de la Croissance* avec trente ans de réalité ». ^[58] *L'approche des limites de la croissance* a été largement débattue, tant par les critiques de l'approche de modélisation et de ses conclusions ^[59] ^[60] que par les analystes qui soutiennent que l'idée que les sociétés ne vivent pas dans un monde illimité et que les données historiques depuis les années 1970 soutiennent les conclusions du rapport. ^[61]^[62] L' *approche des limites de la croissance* explore comment la dynamique sociotechnique de l'économie mondiale peut limiter les opportunités de l'humanité et introduire des risques d'effondrement. En revanche, le cadre des limites planétaires se concentre sur la dynamique biophysique du système terrestre. ^[7]

[Notre avenir à tous](#) a été publié en 1987 par la [Commission mondiale sur l'environnement et le développement](#) des Nations Unies. ^[63] Ce document s'inscrivait dans l'esprit de la [Conférence de Stockholm](#). Son objectif était d'articuler les concepts de développement et d'environnement pour les discussions politiques futures. Il a introduit la célèbre définition du [développement durable](#) : « Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. » ^[63]

Une autre idée clé influençant le cadre des limites planétaires est la [théorie ou hypothèse de Gaïa](#). Dans les années 1970, [James Lovelock](#) et la [microbiologiste Lynn Margulis](#) ont présenté l'idée que tous [les organismes](#) et leur environnement [inorganique](#) sur Terre sont intégrés dans un seul système autorégulateur. ^[64] Le système a la capacité de réagir aux perturbations ou aux déviations, tout comme un organisme vivant ajuste ses mécanismes de régulation pour s'adapter aux changements environnementaux tels que la température ([homéostasie](#)). Néanmoins, cette capacité a des limites. Par exemple, lorsqu'un organisme vivant est soumis à une température

inférieure ou supérieure à sa plage de vie, il peut périr car son mécanisme de régulation ne peut pas effectuer les ajustements nécessaires. De même, la Terre peut ne pas être en mesure de réagir à de grandes déviations de paramètres critiques. ^[71] Dans son livre *La Revanche de Gaïa*, Lovelock suggère que la destruction des forêts tropicales et de la biodiversité, aggravée par le [réchauffement climatique](#) résultant de l'augmentation des [gaz à effet de serre](#) produits par l'homme, pourrait déplacer les rétroactions du système terrestre d'un équilibre autorégulateur vers une boucle de rétroaction positive (intensifiante).

Anthropocène

Article principal : [Anthropocène](#)

Extrait du [Mémorandum de Stockholm](#)

La science indique que nous transgressons les limites planétaires qui ont préservé la civilisation pendant les 10 000 dernières années. De plus en plus de preuves montrent que les pressions humaines commencent à dépasser la capacité tampon de la Terre. L'homme est désormais le principal moteur du [changement global](#), propulsant la planète vers une nouvelle ère géologique, l'[Anthropocène](#). Nous ne pouvons plus exclure que nos actions collectives déclenchent des points de basculement, risquant d'avoir des conséquences brutales et irréversibles pour les communautés humaines et les systèmes écologiques.

– [Mémorandum de Stockholm \(2011\)](#)

Les scientifiques affirment que la planète est entrée dans une nouvelle ère, l'[Anthropocène](#). ^[65] Durant l'Anthropocène, les humains sont devenus les principaux agents non seulement du changement du système terrestre ^[66], mais aussi le moteur de sa *rupture* ^[67], perturbant sa capacité à résister et à se rétablir, menaçant ainsi potentiellement l'[habitabilité planétaire](#). L'[Holocène](#), époque géologique précédente, a débuté il y a environ 10 000 ans. Il s'agit de la période [interglaciaire](#) actuelle, et l'environnement terrestre était relativement stable. Des fluctuations environnementales naturelles ont eu lieu durant l'Holocène, mais les principaux paramètres atmosphériques et biogéochimiques sont restés dans des limites relativement étroites. ^[68] Cette stabilité a permis aux sociétés de prospérer dans le monde entier, en développant l'agriculture, les implantations à grande échelle et des réseaux commerciaux complexes. ^[69]

Selon Rockström *et al.*, « nous sommes désormais devenus tellement dépendants de ces investissements pour notre mode de vie et la façon dont nous avons organisé la société, les technologies et les économies autour d'eux, que nous devons prendre l'étendue dans laquelle les processus du système terrestre ont varié au cours de l'Holocène comme point de référence scientifique pour un état planétaire souhaitable.

» ^[9]

Français Divers processus [biophysiques](#) qui sont importants pour maintenir la [résilience](#) du système terrestre subissent également des changements importants et rapides en raison des actions humaines. ^[70] Par exemple, depuis l'avènement de l'Anthropocène, le taux d'extinction des espèces a augmenté de plus de 100 fois, ^[71] et les humains sont maintenant la force motrice qui modifie les débits des rivières mondiales ^[72] ainsi que les flux de vapeur d'eau de la surface terrestre. ^[73] [La perturbation continue des processus du système terrestre par les activités humaines soulève la possibilité que de nouvelles pressions pourraient être déstabilisantes, conduisant à des réponses de changement environnemental non linéaires, abruptes, à grande échelle ou irréversibles du système terrestre au sein des systèmes à l'échelle continentale à l'échelle planétaire.](#) ^[7]

Réception et débat

Voir aussi : [§ Débat et recherches complémentaires par frontière](#)

En résumé, le concept de limite planétaire est très important, et sa proposition devrait maintenant être suivie d'une discussion sur les liens entre les différentes limites et leur association avec d'autres concepts tels que les « [limites à la croissance](#) ». Il est important de noter que ce nouveau concept met en évidence le risque d'atteindre des seuils ou des points de basculement pour des changements non linéaires ou brutaux dans les processus du système terrestre. À ce titre, il peut aider la société à parvenir aux accords nécessaires pour faire face efficacement aux menaces environnementales mondiales actuelles, telles que le changement climatique.

– Le lauréat du prix Nobel [Mario J. Molina](#) ^[42]

Le rapport de 2009 ^[3] a été présenté à l'Assemblée générale du [Club de Rome](#) à Amsterdam. ^[74] Un résumé édité du rapport a été publié comme article vedette dans une édition spéciale de 2009 de [Nature](#) ^[2], accompagné de commentaires critiques invités d'éminents universitaires comme le lauréat du prix Nobel [Mario J. Molina](#) et le biologiste [Cristián Samper](#) . ^[42]

[Les spécialistes des études du développement](#) ont critiqué certains aspects du cadre et les contraintes que son adoption pourrait imposer aux [pays du Sud](#) . Les propositions visant à préserver une certaine proportion des forêts restantes sur Terre peuvent être perçues comme une récompense pour les pays, comme ceux d'Europe, qui ont déjà bénéficié économiquement de l'épuisement de leurs forêts et de la conversion de terres à l'agriculture. En revanche, les pays qui ne sont pas encore industrialisés sont appelés à faire des sacrifices pour des dommages environnementaux mondiaux qu'ils n'ont peut-être que peu contribué à créer. ^[23]

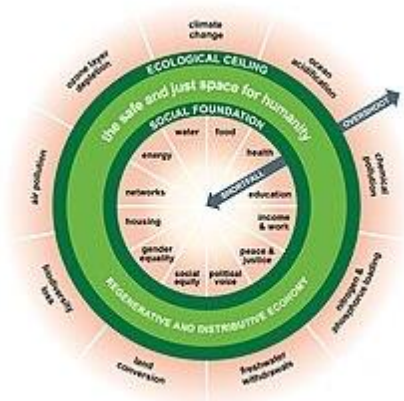
Le biogéochimiste [William Schlesinger](#) s'interroge sur la pertinence des seuils de pollution. Il pense qu'attendre d'approcher d'une limite suggérée ne fera que nous permettre de continuer jusqu'à ce qu'il soit trop tard. « La gestion fondée sur des seuils,

bien que séduisante par sa simplicité, permet à une dégradation pernicieuse, lente et diffuse de persister presque indéfiniment. » ^[27]

Dans une étude empirique mondiale, des chercheurs ont étudié la manière dont les étudiants en études environnementales et de développement durable de 35 pays évaluaient les limites planétaires. Ils ont constaté des différences considérables dans la perception de ces limites à l'échelle mondiale. ^[75]

Développements ultérieurs

Le beignet « espace sûr et juste »



Donut (modèle économique)

Cette section est un extrait de *Doughnut (modèle économique)* . [[modifier](#)]

Le *Doughnut* , ou économie du Doughnut, est un cadre visuel pour le *développement durable* – en forme de *beignet* ou de *bouée de sauvetage* – combinant le concept de limites planétaires et celui, complémentaire, de limites sociales. ^[76] Son nom dérive de la forme du diagramme, un disque percé d'un trou en son centre. Le trou central du modèle représente la proportion de personnes n'ayant pas accès aux *biens essentiels* (*soins de santé* , éducation, *équité* , etc.), tandis que la croûte représente les plafonds écologiques (limites planétaires) dont dépend la vie et qu'il ne faut pas dépasser. ^[77] Ce diagramme a été développé par *Kate Raworth*, économiste à l'*Université d'Oxford*, dans son article de 2012 pour *Oxfam* intitulé « *Un espace sûr et juste pour l'humanité* », et développé dans son livre de 2017 « *Doughnut Economics : Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist* » et son article. ^[78]

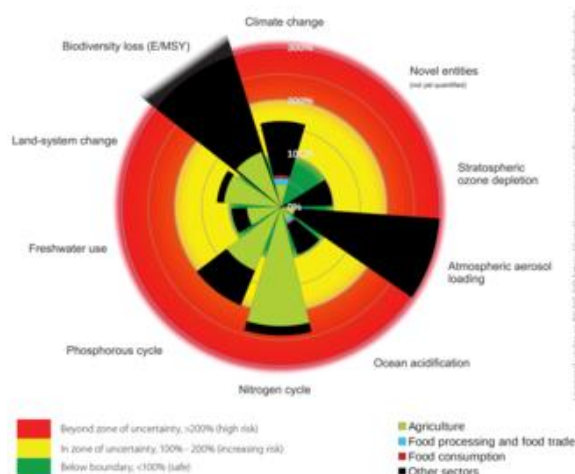
Ce cadre a été proposé pour évaluer la performance d'une économie en fonction de la mesure dans laquelle les besoins des populations sont satisfaits sans dépasser le plafond écologique de la Terre. ^[79] L'objectif principal du nouveau modèle est de recadrer les problèmes économiques et de fixer de nouveaux objectifs. Dans ce contexte, le modèle est également qualifié de « signal d'alarme pour transformer notre vision du monde capitaliste ». ^[80] Dans ce modèle, une économie est considérée

comme **prospère** lorsque les douze fondements sociaux sont respectés sans dépasser aucun des neuf plafonds écologiques. Cette situation est représentée par la zone située entre les deux anneaux, considérée par son créateur comme un espace sûr et juste pour l'humanité. ^[81]

Empreintes environnementales nationales

Plusieurs études ont évalué l'empreinte environnementale des nations en fonction des limites planétaires : pour le Portugal, ^[82] la Suède, ^[83] la Suisse, ^[84] les Pays-Bas, ^[85] l'Union européenne, ^[86] l'Inde, ^[87]^[88] de nombreux pays de l'Initiative Ceinture et Route ^[89] ainsi que pour les économies les plus importantes du monde. ^[90]^[91] Bien que les mesures et les approches d'allocation appliquées varient, il existe un résultat convergent selon lequel l'utilisation des ressources des nations les plus riches - si elle est extrapolée à la population mondiale - n'est pas compatible avec les limites planétaires.

Frontières liées à l'agriculture et à la consommation alimentaire



Les activités humaines liées à l'agriculture et à la nutrition contribuent globalement à la transgression de quatre des neuf limites planétaires. Les flux excédentaires de nutriments (N, P) dans les écosystèmes aquatiques et terrestres sont de la plus haute importance, suivis par les modifications excessives des systèmes terrestres et la perte de biodiversité. Alors que dans le cas de la perte de biodiversité, du cycle du phosphore et des modifications des systèmes terrestres, la transgression se situe dans la zone d'incertitude, indiquant un risque croissant (cercle jaune sur la figure), la limite N liée à l'agriculture est transgressée à plus de 200 %, indiquant un risque élevé (cercle rouge sur la figure). Ici, la nutrition inclut la transformation et le commerce des aliments, ainsi que la consommation alimentaire (préparation des repas dans les ménages et gastronomie). Les impacts environnementaux liés à la consommation ne sont pas quantifiés à l'échelle mondiale pour les limites planétaires de l'utilisation de l'eau

douce, de la charge en aérosols atmosphériques ([pollution de l'air](#)) et de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique. ^[92]

Allocations individuelles et collectives

Les approches fondées sur un cadre général de limites écologiques comprennent [des quotas de carbone personnels](#) (transférables) et des limites nationales d'émissions de gaz à effet de serre « légiférées ». ^[93] Les consommateurs auraient la liberté de faire leur choix (éclairé) dans les limites (collectives). ^[94]

Utilisation au niveau de la politique internationale

Les Nations Unies

Le secrétaire général des Nations Unies, [Ban Ki-moon](#), a approuvé le concept de limites planétaires le 16 mars 2012, lorsqu'il a présenté les points clés du rapport de son Groupe de haut niveau sur la durabilité mondiale lors d'une [séance plénière](#) informelle de l'Assemblée générale des Nations Unies. ^[95] Ban a déclaré : « La vision du Groupe est d'éradiquer la pauvreté et de réduire les inégalités, de rendre la croissance inclusive et la production et la consommation plus durables, tout en luttant contre le changement climatique et en respectant une série d'autres limites planétaires. » ^[96] Le concept a été intégré dans le « projet zéro » des conclusions de la [Conférence des Nations Unies sur le développement durable](#), qui devait se tenir à Rio de Janeiro du 20 au 22 juin 2012. ^[97] Cependant, l'utilisation du concept a ensuite été retirée du texte de la conférence, « en partie en raison des inquiétudes de certains pays pauvres quant au fait que son adoption pourrait conduire à la mise à l'écart de la réduction de la pauvreté et du développement économique. C'est aussi, disent les observateurs, parce que l'idée est tout simplement trop nouvelle pour être officiellement adoptée et qu'elle a dû être remise en question, éprouvée et mûrement réfléchie pour tester sa solidité avant d'avoir une chance d'être acceptée internationalement lors des négociations de l'ONU. » ^[98]

En 2011, lors de sa deuxième réunion, le Groupe de haut niveau sur la durabilité mondiale des Nations Unies avait intégré le concept de limites planétaires dans son cadre, déclarant que son objectif était : « Éradiquer la pauvreté et réduire les inégalités, rendre la croissance inclusive et la production et la consommation plus durables tout en luttant contre le changement climatique et en respectant l'éventail des autres limites planétaires. » ^[99]

Français Ailleurs dans leurs travaux, les membres du panel ont exprimé des réserves quant à l'efficacité politique de l'utilisation du concept de « limites planétaires » : « Les limites planétaires sont un concept encore en évolution qui doit être utilisé avec prudence [...] La question des limites planétaires peut être source de division car elle peut être perçue comme un outil du « Nord » pour dire au « Sud » de ne pas suivre la

voie de développement intensive en ressources et destructrice de l'environnement que les pays riches ont eux-mêmes empruntée... Ce langage est inacceptable pour la plupart des pays en développement car ils craignent qu'une insistance sur les frontières ne freine de manière inacceptable les pays pauvres. » ^[100]

Cependant, ce concept est couramment utilisé dans les actes des Nations Unies ^[101] et dans le *UN Daily News*. Par exemple, le directeur exécutif [du Programme des Nations Unies pour l'environnement \(PNUE\)](#), [Achim Steiner](#), affirme que le défi de l'agriculture est de « nourrir une population mondiale croissante sans repousser [l'empreinte](#) de l'humanité au-delà des limites planétaires ». ^[102] L'Annuaire 2010 du PNUE a également repris le message de Rockström, en le reliant conceptuellement aux indicateurs [de gestion des écosystèmes](#) et [de gouvernance environnementale](#). ^[103]

Dans son rapport de 2012 intitulé « Des populations résilientes, une planète résiliente : un avenir qui vaut la peine d'être choisi », le Groupe de haut niveau sur la durabilité mondiale a appelé à des efforts mondiaux audacieux, « notamment le lancement d'une initiative scientifique mondiale majeure, afin de renforcer l'interface entre science et politique. Nous devons définir, par la science, ce que les scientifiques appellent les « limites planétaires », les « seuils environnementaux » et les « points de basculement » ».

^[104]

Commission européenne

Le concept de limites planétaires est également utilisé dans les procédures de la [Commission européenne](#), ^{[105][106]} et a été mentionné dans le rapport de synthèse [de l'Agence européenne pour l'environnement](#) *L'environnement européen – état et perspectives* 2010. ^[107]

Voir aussi

- [Empreinte écologique](#)
- [Risque de catastrophe mondiale](#)
- [Changement global](#)
- [Extinction de l'Holocène](#)
- [Impact humain sur le cycle de l'azote](#)
- [Impacts humains sur l'environnement](#)
- [Santé planétaire](#)
- [Gestion planétaire](#)
- [Durabilité](#)
- [Triple crise planétaire](#)

Références

1. *Richardson, Katherine ; Steffen, Will ; Lucht, Wolfgang (13 septembre 2023). « [La Terre au-delà de six des neuf limites planétaires](#) ». *Science Advances**

- .9(37).Bibcode:2023SciA....9H2458R.doi:10.1126/sciadv.adh2458.PMC 10499318 .PMID 37703365.S2CID 261742678. eadh2458.
2. Rockström, Steffen, Will; Personne, Kevin ; Persson, Asa; Chapin, F. Stuart; Lambin, Eric F. ; Lenton, Timothy M. ; Scheffer, Martre; Folke, Carl ; Schellnhuber, Hans Joachim ; Nykvist, Björn (2009). "Un espace opérationnel sûr pour l'humanité". *Nature* .**461**(7263) :472-475.Bibcode:2009Natur.461..472R.est ce que je: 10.1038/461472a .ISSN0028-0836. PMID19779433.S2CID205049746.
3. Rockström, Johan ; Steffen, Will ; Noone, Kevin ; Persson, Åsa ; Chapin, F. Stuart III ; Lambin, Eric ; Lenton, Timothy M. ; Scheffer, Marten ; Folke, Carl ; Schellnhuber, Hans Joachim ; Nykvist, Björn (2009).« *Frontières planétaires : exploration de l'espace opérationnel sûr pour l'humanité* ». *Écologie et société* .**14**(2) art32.doi: 10.5751/ES-03180-140232 .hdl: 10535/5421 .ISSN1708-3087.S2CID15182169. art32.
4. Rockström, Johan ; Gupta, Joyeeta ; Qin, Dahé ; Lade, Steven J. ; Abrams, Jesse F. ; Andersen, Lauren S. ; Armstrong McKay, David I. ; Bai, Xuemei ; Bala, Govindasamy ; Bunn, Stuart E. ; Ciobanu, Daniel; DeClerck, Fabrice ; Ebi, Kristie; Gifford, Lauren ; Gordon, Christophe ; Hasan, Syezlin ; Kanie, Norichika; Lenton, Timothy M. ; Loriani, Sina; Liverman, Diana M. ; Mohamed, Awaz; Nakicenovic, Nebojsa ; Obura, David ; Ospina, Daniel; Prodani, Klaudia ; Rammelt, Crélis; Sakschewski, Boris; Scholtens, Joeri ; Stewart-Koster, Ben ; Tharammal, Thejna ; van Vuuren, Detlef; Verburg, Peter H. ; Winkelmann, Ricarda ; Zimm, Caroline ; Bennett, Elena M. ; Bringezu, Stefan; Broadgate, Wendy ; Vert, Pamela A. ; Huang, Lei ; Jacobson, Lisa; Ndehedehe, Christophe ; Peddè, Simona ; Rocha, Juan; Scheffer, Martre ; Schulte-Uebbing, Léna ; de Vries, Wim; Xiao, Cundé ; Xu, Chi ; Xu, Xinwu ; Zafra-Calvo, Noélia ; Zhang, Xin (2023). "*Limites sûres et justes du système terrestre*". *Nature* . **619** (7968) : 102-111 . Bibcode : 2023Natur.619..102R . est ce que je : 10.1038/s41586-023-06083-8 . PMC10322705 . PMID 37258676 .
5. « *Dix ans de neuf limites planétaires* ».www.stockholmresilience.org. Novembre 2019. Consulté le 30 mars 2022.
6. « *Les limites de la Terre ?* ». *Nature* .**461**(7263) :447-448. 2009.Bibcode:2009Natur.461R.447..doi: 10.1038/461447b .ISSN0028-0836.PMID19779405.S2CID29052784.
7. Steffen, Will ; Richardson, Katherine ; Rockström, Johan ; Cornell, Sarah E. ; Fetzer, Ingo ; Bennett, Elena M. ; Biggs, Reinette ; Carpenter, Stephen R. ; de Vries, Wim ; de Wit, Cynthia A. ; Folke, Carl (2015).« *Limites planétaires : Guider le développement humain sur une planète en mutation* ». *Science* .**347**(6223) : 1259855.doi:10.1126/science.1259855.hdl: 1885/13126 .ISSN0036-8075.PMID25592418.S2CID206561765.
8. Persson, Linn ; Carney Almroth, Bethanie M. ; Collins, Christopher D. ; Cornell, Sarah ; de Wit, Cynthia A. ; Diamond, Miriam L. ; Fantke, Peter ; Hassellöv, Martin ; MacLeod, Matthew ; Ryberg, Morten W. ; Sjøgaard Jørgensen, Peter (18 janvier 2022).« *En dehors de l'espace de fonctionnement sûr de la limite planétaire pour les nouvelles entités* ».Sciences et technologies de l'environnement.**56**(3) :1510-1521.Bibcode:2022EnST...56.1510P.doi:10.1021/acs.est.1c04158.hdl:20.500.11850/532277.ISSN0013-936X.PMC 8811958 .PMID35038861.
9. Rockström et 28 autres 2009.
10. Kim, Rakhyun E.; Kotzé, Louis J. (2021). « *Les limites planétaires à l'intersection du droit, de la science et de la gouvernance du système terrestre : un état des lieux* ». *Revue de droit*

européen, comparé et international de l'environnement . **30** (1) : 3– 15. *Bibcode* : 2021RECIE..30....3K . *doi* : 10.1111/reel.12383 . *ISSN* 2050-0386 .

11. CO2 récent de Mauna Loa archivé le 25 décembre 2018 dans la [Wayback Machine Earth System Research Laboratories](#) , *NOAA Research* .
12. Forster, PM et al. (2023). Indicateurs du changement climatique mondial 2022 : mise à jour annuelle des indicateurs à grande échelle de l'état du système climatique et de l'influence humaine. *Earth Syst. Sci. Données* 15, 2295–2327.
13. Carpenter, SR et Bennett, EM (2011). Réexamen de la limite planétaire du phosphore. *Environmental Research Letters*, 6(1), 014009. DOI : 10.1088/1748-9326/6/1/014009
14. [Stern 2007](#) .
15. Chapron, Guillaume ; Epstein, Yaffa; Trouwborst, Arié ; López-Bao, José Vicente (février 2017). "Renforcez les frontières juridiques pour rester dans les limites planétaires". *Écologie et évolution de la nature* . **1** (3) : 0086. *Bibcode* : 2017NatEE...1...86C . *est ce que je* : 10.1038/s41559-017-0086 . *PMID* 28812716 . *S2CID* 31914128 .
16. De'Ath, G. ; Lough, JM ; Fabricius, KE (2009), « *Déclin de la calcification corallienne sur la Grande Barrière de corail* » (PDF) , *Science* , **323** (5910) : 116–119 , *Bibcode* : 2009Sci...323..116D , *doi* : 10.1126/science.1165283 , *PMID* : 19119230 , *S2CID* : 206515977 , *archivé* (PDF) à partir de l'original le 12 septembre 2011 , consulté le 4 juillet 2011.
17. Bellwood, DR; Hughes, TP; Folke, C.; Nyström, M. (2004), « *Face à la crise des récifs coralliens* » (PDF) , *Nature* , **429** (6994) : 827– 833, *Bibcode* : 2004Natur.429..827B , *doi* : 10.1038/nature02691 , *PMID* 15215854 , *S2CID* 404163
18. Guinotte, JM; Fabry, VJ (2008), « *L'acidification des océans et ses effets potentiels sur les écosystèmes marins* » (PDF) , *Annals of the New York Academy of Sciences* , **1134** (1) : 320– 342, *Bibcode* : 2008NYASA1134..320G , *doi* : 10.1196/annals.1439.013 , *PMID* : 18566099 , *S2CID* : 15009920 , *archivé* (PDF) à partir de l'original le 28 septembre 2011 , consulté le 4 juillet 2011.
19. Rockström, J. et al. 2009. Limites planétaires : « Explorer un espace de sécurité pour l'humanité ». *Écologie et Société* **14** (2):32.
<https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/> Supplément 1 :
<https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/appendix1.pdf>
20. [Running, Steven W.](#) (2012). « Une limite planétaire mesurable pour la biosphère ». *Science* . **337** (6101) : 1458– 1459. *Bibcode* : 2012Sci...337.1458R . *doi* : 10.1126/science.1227620 . *PMID* : 22997311 . *S2CID* : 128815842 .
21. [La vie végétale a-t-elle atteint ses limites ? Archivé](#) le 1er octobre 2019 sur [Wayback Machine](#) , *New York Times* , 20 septembre 2012.
22. [La biomasse devrait être le dixième point de basculement, selon un chercheur Archivé](#) le 14 avril 2012 sur la [Wayback Machine SciDev.Net](#) , 27 mars 2012.
23. Biermann, Frank ; Kim, Rakhyun E. (2020). « *Les limites du cadre des limites planétaires : une évaluation critique des approches visant à définir un « espace de fonctionnement sûr » pour l'humanité* ». *Revue annuelle de l'environnement et des ressources*. **45** :497–521. *doi*: 10.1146/annurev-environ-012320-080337 .
24. Steffen, Will ; Rockström, Johan ; Richardson, Katherine ; Lenton, Timothy M. ; Folke, Carl ; Liverman, Diana ; Summerhayes, Colin P. ; Barnosky, Anthony D. ; Cornell, Sarah E. ; Crucifix, Michel ; Donges, Jonathan F. (14 août 2018). « *Trajectoires du système terrestre à l'ère de l'Anthropocène* ». *Actes de l'Académie nationale des sciences*. **115**(33) :8252–

- 8259.[Bibcode:2018PNAS..115.8252S](#).doi: [10.1073/pnas.1810141115](#) .ISSN0027-8424.PMC [6099852](#) .PMID30082409.
25. Watts, Jonathan (7 août 2018). « [L'effet domino des événements climatiques pourrait transformer la Terre en un état de serre](#) . » *The Guardian* . [Archivé de l'original](#) le 15 octobre 2019. Consulté le 8 août 2018 .
 26. [Samper 2009](#) .
 27. [Schlesinger 2009](#).
 28. [Brewer 2009](#).
 29. [Neset et Cordell 2011](#) , p. 2.
 30. [Cordell, Drangert et White 2009](#) , p. 292.
 31. [Lewis 2008](#) , p. 1.
 32. McDowell, RW ; Pletnyakov, P. ; Haygarth, PM (avril 2024). « [Des applications de phosphore ajustées pour optimiser les rendements des cultures peuvent contribuer à maintenir les réserves mondiales de phosphore](#) » . *Nature Food* . **5** (4) : 332– 339. doi : [10.1038/s43016-024-00952-9](#) . ISSN 2662-1355 . PMC [11045449](#) . PMID [38528194](#) .
 33. « [Les neuf limites planétaires](#) »(page web).[Centre de résilience de Stockholm](#). 17 septembre 2009.[Archivé de l'original](#) le 30 août 2011.Consulté le 30 juillet 2016.
 34. [Basse 2009](#) .
 35. [Larsen 2005](#) ;[Sandford 2009](#) .
 36. [Palaniappan et Gleick 2008](#) .
 37. [Molden 2009](#) .
 38. Wang-Erlandsson, Lan ; Tobian, Arne ; van der Ent, Ruud J. ; Fetzer, Ingo ; te Wierik, Sofie ; Porkka, Miina ; Staal, Arie ; Jaramillo, Fernando ; Dahlmann, Heindriken ; Singh, Chandrakant ; Greve, Peter ; Gerten, Dieter ; Keys, Patrick W. ; Gleeson, Tom ; Cornell, Sarah E. ; Steffen, Will ; Bai, Xuemei ; Rockström, Johan (26 avril 2022).« [Une limite planétaire pour l'eau verte](#) ».*Nature Reviews Earth & Environment*.**3**(6) :380–392.[Bibcode:2022NRvEE...3..380W](#).doi:[10.1038/s43017-022-00287-8](#).ISSN2662-138X.S2CID248386281.
 39. « [La pénurie d'eau devrait s'aggraver dans plus de 80 % des terres cultivées dans le monde au cours de ce siècle](#) ». *American Geophysical Union* . Consulté le 16 mai 2022.
 40. Liu, Xingcai ; Liu, Wenfeng ; Tang, Qihong ; Liu, Bo ; Wada, Yoshihide ; Yang, Hong (avril 2022). « [Évaluation mondiale de la pénurie d'eau agricole intégrant la disponibilité de l'eau bleue et verte dans le cadre du changement climatique futur](#) » .*L'avenir de la Terre*.**10**(4).[Bibcode:2022EaFut..1002567L](#).doi:[10.1029/2021EF002567](#).S2CID248398232.
 41. Porkka, Miina; Virkki, Vili ; Wang-Erlandsson, Lan; Gerten, Dieter ; Gleeson, Tom ; Mohan, Chinchu ; Fetzer, Ingo ; Jaramillo, Fernando; Staal, Arié ; te Wierik, Sofie; Tobian, Arné ; van der Ent, Ruud; Doll, Petra ; Flörke, Martina ; Gosling, Simon N. ; Hanasaki, Naota ; Satoh, Yusuke ; Müller Schmied, Hannes ; Erre, Niko ; Famiglietti, James S. ; Rockström, Johan ; Kummu, Matti (mars 2024). "Des changements notables au-delà des conditions préindustrielles de débit et d'humidité du sol transgressent la limite planétaire du changement d'eau douce". *Eau naturelle* . **2** (3) : 262-273 . [est ce que je :](#) [10.1038/s44221-024-00208-7](#) .
 42. [Molina 2009](#).
 43. Anderson, Jonathan O. ; Thundiyil, Josef G. ; Stolbach, Andrew (juin 2012). « [Purifier l'air : une étude des effets de la pollution atmosphérique par les particules fines sur la santé humaine](#)

- ». *Journal of Medical Toxicology* . **8** (2) : 166– 175. doi : [10.1007/s13181-011-0203-1](https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1) . ISSN [1537-6695](https://www.issn.org/issn/1537-6695) . PMC [22194192](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22194192/) . PMID [22194192](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22194192/) .
44. Jones, Kevin C. (20 juillet 2021). « *Polluants organiques persistants (POP) et produits chimiques apparentés dans l'environnement mondial : quelques réflexions personnelles* » . Sciences et technologies de l'environnement . **55** (14) : 9400– 9412. Bibcode : [2021EnST...55.9400J](https://ui.adsabs.org/2021EnST...55.9400J) . doi : [10.1021/acs.est.0c08093](https://doi.org/10.1021/acs.est.0c08093) . ISSN : [0013-936X](https://www.issn.org/issn/0013-936X) . PMID : [33615776](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33615776/) . S2CID : [231989472](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33615776/) .
 45. Handoh et Kawai 2011 .
 46. Handoh et Kawai 2014 .
 47. « *La limite de sécurité planétaire pour les polluants, y compris les plastiques, a été dépassée, selon les chercheurs* » . Centre de résilience de Stockholm . 18 janvier 2022. Consulté le 28 janvier 2022 .
 48. Centre, Stockholm Resilience (2022). « *La limite planétaire de sécurité pour les polluants, y compris les plastiques, a été dépassée* » . SciTechDaily . Consulté le 16 février 2022 .
 49. « *Pollution : les « produits chimiques éternels » dans l'eau de pluie dépassent les niveaux de sécurité* ».BBC News. 2 août 2022.Consulté le 14 septembre 2022.
 50. Cousins, Ian T. ; Johansson, Jana H. ; Salter, Matthew E. ; Sha, Bo ; Scheringer, Martin (16 août 2022). « *En dehors de l'espace de fonctionnement sûr d'une nouvelle limite planétaire pour les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS)* » . Sciences et technologies de l'environnement . **56** (16) : 11172– 11179. Bibcode : [2022EnST...5611172C](https://ui.adsabs.org/2022EnST...5611172C) . doi : [10.1021/acs.est.2c02765](https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765) . ISSN [0013-936X](https://www.issn.org/issn/0013-936X) . PMC [9387091](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35916421/) . PMID [35916421](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35916421/) .
 51. Kotzé, Louis J. ; Kim, Rakhyun E. ; Burdon, Peter ; du Toit, Louise ; Glass, Lisa-Maria ; Kashwan, Prakash ; Liverman, Diana ; Montesano, Francesco S. ; Rantala, Salla (31 juillet 2022), Biermann, Frank ; Hickmann, Thomas ; Sénit, Carole-Anne (dir.), « *Chapitre 6 : Intégrité planétaire* », *L'impact politique des Objectifs de développement durable*(1 éd.), Cambridge University Press, pp. 140–171,doi:[10.1017/9781009082945.007](https://doi.org/10.1017/9781009082945.007) ,ISBN [978-1-00-908294-5](https://www.isbn.org/9781009082945)
 52. Bridgewater, Peter ; Kim, Rakhyun E. ; Bosselmann, Klaus (2014). « *L'intégrité écologique : un concept pertinent pour le droit international de l'environnement à l'ère de l'Anthropocène ?* » . *Annuaire de droit international de l'environnement* . **25** (1) : 61– 78. doi : [10.1093/yiel/yvv059](https://doi.org/10.1093/yiel/yvv059) . ISSN [0965-1721](https://www.issn.org/issn/0965-1721) .
 53. Kim, Rakhyun E. ; Bosselmann, Klaus (2015). « *Opérationnaliser le développement durable : l'intégrité écologique comme norme fondamentale du droit international* » . *Revue de droit européen, comparé et international de l'environnement* . **24** (2) : 194– 208. Bibcode : [2015RECIE..24..194K](https://ui.adsabs.org/2015RECIE..24..194K) . doi : [10.1111/reel.12109](https://doi.org/10.1111/reel.12109) . hdl : [10072/125294](https://hdl.handle.net/10072/125294) . ISSN [2050-0386](https://www.issn.org/issn/2050-0386) .
 54. Bosselmann, Klaus (2010). « *Perdre la forêt pour les arbres : le réductionnisme environnemental dans le droit* » . *Durabilité* . **2** (8) : 2424– 2448. Bibcode : [2010Sust...2.2424B](https://ui.adsabs.org/2010Sust...2.2424B) . doi : [10.3390/su2082424](https://doi.org/10.3390/su2082424) . hdl : [10535/6499](https://hdl.handle.net/10535/6499) . ISSN [2071-1050](https://www.issn.org/issn/2071-1050) .
 55. Meadows et autres 1972 .
 56. Meyer et Nørgård 2010 .
 57. Van Vuuren et Faber 2009 , p. 23
 58. Turner 2008 , p. 37.
 59. Meyer, NI; Noergaard, JS (15 juillet 2011). « *Moyens politiques pour des scénarios énergétiques durables* » . {{cite journal}}: Citer le journal nécessite |journal=(aide)

60. Vuuren, DP van (2009). *Grandir dans les limites : rapport à l'Assemblée mondiale 2009 du Club de Rome*. A. Faber, Annemieke Righart. Bilthoven [etc.] : Agence néerlandaise d'évaluation environnementale. ISBN 978-90-6960-234-9. OCLC 472600831 .
61. Graham, Turner (2008). « *Comparaison de « Les limites de la croissance » avec trente ans de réalité* » (PDF) . Consulté le 8 avril 2022 .
62. Nørgård, JS ; Peet, J. ; Ragnarsdóttir, KV (2010). « *L'histoire des limites de la croissance* » (PDF) . Solutions Journal . Consulté le 8 avril 2022 .
63. « *Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement : notre avenir à tous* »(PDF). Nations Unies.
64. Lovelock 1972 ; Lovelock et Margulis 1974 .
65. Waters, Colin N. ; Zalasiewicz, Jan ; Summerhayes, Colin ; Barnosky, Anthony D. ; Poirier, Clément ; Gatuszka, Agnieszka ; Cearreta, Alejandro ; Edgeworth, Matt ; Ellis, Erle C. ; Ellis, Michael ; Jeandel, Catherine (8 janvier 2016). « *L'Anthropocène est fonctionnellement et stratigraphiquement distinct de l'Holocène* » . Science . **351** (6269) : aad2622. Bibcode : 2016Sci...351.2622W . doi : 10.1126/science.aad2622 . ISSN 0036-8075 . PMID 26744408 . S2CID 206642594 .
66. Crutzen 2002 ; Steffen, Crutzen et McNeill 2007 ; Zalasiewicz et autres 2010 .
67. Hamilton, Clive (2017). *Terre rebelle : le destin des humains à l'ère de l'anthropocène* . Politique. ISBN . 978-1-5095-1974-3. OCLC 1027177323 .
68. Dansgaard & autres 1993 ; Petit & autres 1999 ; Rioual & autres 2001 .
69. van der Leeuw 2008 .
70. Mace, Masundire et Baillie 2005 ; Folke et autres 2004 ; Gordon, Peterson et Bennett 2008 .
71. Masse, Masundire et Baillie 2005 .
72. Shiklomanov et Rodda 2003 .
73. Gordon, Peterson et Bennett 2008 .
74. Rockström 2009 .
75. Kleespies, Matthias Winfried ; Hahn-Klimroth, Max ; Dierkes, Paul Wilhelm (1er avril 2023). « *Comment les étudiants universitaires évaluent les limites planétaires : une étude empirique mondiale* » . Défis environnementaux . **11** 100712. doi : 10.1016/j.envc.2023.100712 . ISSN 2667-0100 . S2CID 257895735 .
76. Raworth, Kate (2012). *Un espace sûr et juste pour l'humanité : Pouvons-nous vivre dans le donut ?* (PDF) . Documents de discussion d'Oxfam.
77. Monbiot, George (12 avril 2017). « *Enfin, une alternative révolutionnaire à l'économie des sourcils : le donut* » . The Guardian . ISSN 0261-3077 . Consulté le 5 janvier 2019 .
78. Raworth, Kate (1er mai 2017). « *Un beignet pour l'Anthropocène : la boussole de l'humanité au XXI^e siècle* » . The Lancet Planetary Health . **1** (2) : e48 – e49 . doi : 10.1016/S2542-5196(17)30028-1 . ISSN : 2542-5196 . PMID : 29851576. S2CID : 46919938 .
79. Raworth, Kate (28 avril 2017). « *Découvrez le donut : le nouveau modèle économique qui pourrait contribuer à mettre fin aux inégalités* » . Forum économique mondial . Consulté le 4 janvier 2019 .
80. Ross, Florian (2019). « *Kate Raworth - L'économie du donut : sept façons de penser comme un économiste du XXI^e siècle* » . Études régionales et commerciales . **11** (2) : 81–86 . doi : 10.33568/rbs.2409 . ISSN 2732-2726 .
81. O'Neill, Daniel W. ; Fanning, Andrew L. ; Lamb, William F. ; Steinberger, Julia K. (2018). « *Une vie agréable pour tous dans les limites de la planète* » (PDF) . Nature Sustainability . **1** (2) : 88– 95. doi : 10.1038/s41893-018-0021-4 . S2CID 169679920 .

82. da Silva Vieira, Ricardo; Domingos, Tiago (2021). *Limites environnementales : les impacts intergénérationnels de l'utilisation des ressources biophysiques. Rapport final* (PDF) . Lisbonne : Fondation Calouste Gulbenkian et Associação para o Desenvolvimento do Instituto Superior Técnico.
83. Björn Nykvist, Åsa Persson, Fredrik Moberg, Linn Persson, Sarah Cornell, Johan Rockström : *National Environmental Performance on Planetary Boundaries* Archivé le 25 novembre 2020 à la [Wayback Machine](#) , commandé par l'Agence suédoise de protection de l'environnement, 2013.
84. Hy Dao, Pascal Peduzzi, Damien Friot : *Limites et empreintes environnementales nationales basées sur le cadre des limites planétaires : le cas de la Suisse* Archivé le 22 janvier 2019 à la [Wayback Machine](#) , Université de Genève, Institut des sciences de l'environnement, GRID-Genève, EA – Shaping Environmental Action, 2018.
85. Paul Lucas, Harry Wilting : *Vers un espace opérationnel sûr pour les Pays-Bas : Utiliser les limites planétaires pour soutenir la mise en œuvre nationale des ODD liés à l'environnement* , PBL Agence néerlandaise d'évaluation environnementale 2018.
86. Tina Häyhä, Sarah E. Cornell, Holger Hoff, Paul Lucas, Detlef van Vuuren : *le concept d'un espace opérationnel sûr au niveau de l'UE – premiers pas et explorations* , Stockholm Resilience Centre, 2018.
87. Roy, Ajishnu ; Pramanick, Kousik (2020), Hussain, Chaudhery Mustansar (éd.), « *Espace opérationnel sûr et juste pour l'Inde* » , Manuel de gestion des matériaux environnementaux , Cham : Springer International Publishing, pp. 1– 32, doi : 10.1007/978-3-319-58538-3_210-1 , ISBN 978-3-319-58538-3, S2CID 226479906 , récupéré le 17 avril 2022
88. Roy, Ajishnu ; Pramanick, Kousik (15 février 2019). « *Analyse des progrès de l'objectif de développement durable 6 en Inde : passé, présent et futur* » . Journal of Environmental Management . **232** : 1049– 1065. Bibcode : 2019JEnvM.232.1049R . doi : 10.1016/j.jenvman.2018.11.060 . ISSN 0301-4797 . PMID 33395757 . S2CID 104399897 .
89. Roy, Ajishnu ; Li, Yan ; Dutta, Tusheema ; Basu, Aman ; Dong, Xuhui (27 janvier 2022). « *Comprendre la relation entre la mondialisation et la consommation des ressources biophysiques dans les limites de fonctionnement sûres pour les principaux pays de l'Initiative Ceinture et Route* » . Recherche en sciences de l'environnement et en pollution . **29** (27) : 40654– 40673. Bibcode : 2022ESPR...2940654R . doi : 10.1007/s11356-022-18683-4 . ISSN 1614-7499 . PMID 35084683 . S2CID 246296716 .
90. bluedot.world : *Empreinte environnementale des nations* Archivé le 2 janvier 2019 sur la [Wayback Machine](#) .
91. Kai Fang, Reinout Heijungs, Zheng Duan, Geert R. de Snoo : *La durabilité environnementale des nations : analyse comparative des empreintes carbone, eau et terre par rapport aux limites planétaires allouées* Archivé le 9 novembre 2018 sur la [Wayback Machine](#) , Sustainability 2015, 7, 11285-11305.
92. Meier 2017
93. Green, Fergus (juin 2021). « *Limites écologiques : science, justice, politique et la bonne vie* » . Philosophy Compass . **16** (6) : e12740. doi : 10.1111/phc3.12740 . ISSN 1747-9991 . PMC 9285753. PMID 35860674. S2CID 236560071 .
94. Hauschild, Michael Z. (1er janvier 2015). « *Mieux – mais est-ce suffisant ? De la nécessité de prendre en compte à la fois l'éco-efficience et l'éco-efficacité pour évaluer la durabilité industrielle* » (PDF) . Procedia CIRP . **29** : 1– 7. doi : 10.1016/j.procir.2015.02.126 . ISSN 2212-8271 . S2CID : 55994719 .

95. [Le projet zéro de Rio+20 accepte les « limites planétaires »](#) Archivé le 31 mars 2012 sur la [Wayback Machine](#) *SciDev.Net* , 28 mars 2012.
96. [Le Secrétaire général souligne les points clés...](#) Archivé le 20 mars 2012 sur la [Wayback Machine](#) *United Nations News* , 16 mars 2012.
97. [Version zéro du document final](#) Archivé le 17 avril 2012 sur la [Wayback Machine](#) RIO+20, Conférence des Nations Unies sur le développement durable.
98. [Votre guide de la science et de la technologie à Rio+20](#) Archivé le 21 juin 2012 sur la [Wayback Machine](#) *scidev.net* , 12 juin 2012.
99. [Réunion GSP 2 de l'ONU 2011](#) , p. 5.
100. [Réunion des Sherpas de l'ONU 3 2011](#) .
101. [Agenda 21 de l'ONU](#) .
102. [L'agriculture durable, clé de la croissance verte et de la réduction de la pauvreté](#) Archivé le 4 mars 2016 sur la [Wayback Machine](#) *UN Daily News* , 1er juin 2011, page 8.
103. [PNUE 2010](#) , p. [\[page nécessaire\]](#) .
104. [Réunion du SPG de l'ONU 2012](#) , p. 14.
105. [« Déclaration de Budapest »](#) . *Transition vers une consommation et une production alimentaires durables dans un monde aux ressources limitées* . Mai 2011. Conférence, 4-5 mai 2011, Budapest, Hongrie. Archivé de [l'original](#) le 3 novembre 2012.
106. [Greenfield 2010](#) .
107. [Martin, Henrichs et autres 2010](#) .

Sources

- Bass, S. (2009), « *Limites planétaires : ne marchez pas sur l'herbe* », [commentaire], *Nature Reports Climate Change* , **1** (910) : 113, *Bibcode* : [2009NatCC...1..113B](#) , *doi* : [10.1038/climate.2009.94](#)
- Brewer, P. (2009), « *Limites planétaires : prendre en compte toutes les conséquences* », [commentaire], *Nature Reports Climate Change* , **1** (910) : 117, *Bibcode* : [2009NatCC...1..117B](#) , *doi* : [10.1038/climate.2009.98](#)
- [Cordell, Dana](#) ; [Drangert, Jan-Olof](#) ; [White, Stuart](#) (2009). « *L'histoire du phosphore : sécurité alimentaire mondiale et matière à réflexion* ». *Changement environnemental global* . **19** (2) : 292–305. *Bibcode* : [2009GEC....19..292C](#) . *doi* : [10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009](#) . *ISSN* 0959-3780 . *S2CID* 1450932 .
- [Crutzen, Paul J.](#) (3 janvier 2002), « *Géologie de l'humanité – L'Anthropocène* », *Nature* , **415** (6867) : 23, *Bibcode* : [2002Natur.415...23C](#) , *doi* : [10.1038/415023a](#) , *PMID* 11780095 , *S2CID* 9743349
- [Dansgaard, W.](#) ; [Johnsen, SJ](#) ; [Clausen, HB](#) ; [Dahl-Jensen, D.](#) ; et al. (15 juillet 1993), « *Preuves d'instabilité générale du climat passé à partir d'un enregistrement de carottes de glace de 250 000 ans* » (PDF) , *Nature* , **364** (6434) : 218–20, *Bibcode* : [1993Natur.364..218D](#) , *doi* : [10.1038/364218a0](#) , *S2CID* 4304321 , *archivé* (PDF) à partir de [l'original](#) le 3 octobre 2011 , consulté le 7 juillet 2011
- [Folke, C.](#) ; [Carpenter, S.](#) ; [Walker, B.](#) ; [Scheffer, M.](#) ; [Elmqvist, T.](#) ; [Gunderson, L.](#) ; [Holling, CS](#) (2004), « *Changements de régime, résilience et biodiversité dans la gestion des écosystèmes* » (PDF) , *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* , **35** : 557–81 , *CiteSeerX* [10.1.1.489.8717](#) , *doi* : [10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711](#) , *archivé* à partir de [l'original](#) (PDF) le 18 octobre 2012.
- [Gordon, LJ](#) ; [Peterson, GD](#) ; [Bennett, EM](#) (2008), « *Les modifications agricoles des flux hydrologiques créent des surprises écologiques* » (PDF) , *Trends in Ecology & Evolution* , **23** (4) :

211– 19, *Bibcode* : 2008TEcoE..23..211G , *doi* : 10.1016/j.tree.2007.11.011 , *PMID* : 18308425 , *archivé* (PDF) à partir de l'original le 1er juin 2011 , consulté le 26 octobre 2011.

- Greenfield, O. (avril 2010), *Contribution à la discussion pour la 4e session : Responsabilité sociale des entreprises dans une économie mondialisée [résumé de la réunion]* (PDF) , Conférence européenne : « Vers une meilleure compréhension de l'évolution du rôle des entreprises dans la société », Bruxelles, 22 avril 2010, *archivé* (PDF) à partir de l'original le 3 novembre 2012 , consulté le 3 juillet 2011
- Handoh, Itsuki C. ; Kawai, Toru (2011), « *Analyse bayésienne de l'incertitude de la dynamique globale des polluants organiques persistants : vers une quantification des limites planétaires de la pollution chimique* »" (PDF) , dans Omori, K.; et al. (éd.), *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry—Marine Environmental Modeling & Analysis* , Terrapub, pp. 179– 187, *archivé* (PDF) à partir de l'original le 27 septembre 2011 , récupéré le 22 juin 2011
- Handoh, Itsuki C.; Kawai, Toru (2014), « Modélisation de l'exposition aux biphényles polychlorés des consommateurs océaniques de niveaux trophiques supérieurs : points chauds de pollution liés aux mortalités massives de mammifères marins », *Marine Pollution Bulletin* , **85** (8) : 824– 830, *Bibcode* : 2014MarPB..85..824H , *doi* : 10.1016/j.marpolbul.2014.06.031 , *ISSN* 0025-326X , *PMID* 25016416
- Larsen, Janet (7 avril 2005), *Plan B updates: Disappearing lakes, shrinking seas [page web]* , Washington, DC : Earth Policy Institute, *archivé* à partir de l'original le 24 avril 2021 , récupéré le 13 juillet 2011
- van der Leeuw, SE (2008), « Climat et société : leçons des 10 000 dernières années », *Ambio : A Journal of the Human Environment* , **37** : 476– 482, *Bibcode* : 2008Ambio..37S.476V , *doi* : 10.1579/0044-7447-37.sp14.476 , *PMID* 19205123 , *S2CID* 25602752
- Lewis, Leo (23 juin 2008). « *Les scientifiques mettent en garde contre le manque de phosphore vital alors que les biocarburants augmentent la demande* » (PDF) . Times Online . Archivé de *l'original* (PDF) le 23 juillet 2011.
- Lovelock, JE (août 1972), « Gaïa vue à travers l'atmosphère », *Atmospheric Environment* , **6** (8) : 579– 580, *Bibcode* : 1972AtmEn...6..579L , *doi* : 10.1016/0004-6981(72)90076-5 , *ISSN* 1352-2310
- Lovelock, JE; Margulis, L. (1974). « *L'homéostasie atmosphérique par et pour la biosphère : l'hypothèse gaïa* » . *Tellus A*. **26** (1– 2) : 2– 10. *Bibcode* : 1974Dites...26....2L . *est ce que je* : 10.3402/tellusa.v26i1-2.9731 . *S2CID*129803613 .
- Mace, G.; Masundire, H.; Baillie, J. (2005), « Biodiversité », dans Hassan, RM; Scholes, R.; Ash, N. (dir.), *Écosystèmes et bien-être humain : état actuel et tendances : conclusions du Groupe de travail sur l'état et les tendances de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire* , Série sur l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, *Island Press* , pp. 79–115 , *ISBN* 978-1-55963-228-7, *LCCN* 2005017196 , *archivé* de l'original le 10 avril 2017 , récupéré le 7 novembre 2016
- Martin, J.; Henrichs, T.; et al. (2010), *L'environnement européen – état et perspectives 2010, Chapitre 7 : défis environnementaux dans un contexte mondial* , Agence européenne pour l'environnement, *archivé* à partir de l'original le 28 septembre 2011 , consulté le 7 juin 2011
- Meadows, DH; Meadows, DL; Randers, J.; Behrens III, WW (1972), *Les limites de la croissance : un rapport pour le projet du Club de Rome sur la situation difficile de l'humanité* , Universe Books, *ISBN* 978-0-87663-165-2, *archivé* de l'original le 21 novembre 2021 , récupéré le 7 novembre 2016
- Meier, Toni (2017), « *Planetary boundaries of agriculture and nutrition – an Anthropocene approach* » (PDF) , actes du symposium « Communicating and Designing the Future of Food in

the Anthropocene », Université Humboldt de Berlin, éditions Bachmann , [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 13 septembre 2017, consulté le 6 mai 2017.

- Meyer, NI ; Nørgård, JS (2010), [Policy Means for Sustainable Energy Scenarios \(résumé\)](#) (PDF) , Danemark : Conférence internationale sur l'énergie, l'environnement et la santé – Optimisation des systèmes énergétiques futurs, pp. 133–137, archivé de [l'original](#) (PDF) le 9 octobre 2016, consulté le 5 juillet 2011
- Molden, D. (2009), « Limites planétaires : le diable est dans les détails », [commentaire], *Nature Reports Climate Change* , **1** (910) : 116, *Bibcode* : 2009NatCC...1..116M , *doi* : [10.1038/climate.2009.97](#)
- Molina, MJ (2009), « Limites planétaires : identifier les changements brusques », [commentaire], *Nature Reports Climate Change* , **1** (910) : 115– 116, *Bibcode* : 2009NatCC...1..115M , *doi* : [10.1038/climate.2009.96](#)
- Neset, Tina-Simone S. ; Cordell, Dana (2011). « Pénurie mondiale de phosphore : identifier les synergies pour un avenir durable ». *Revue des sciences de l'alimentation et de l'agriculture* . **92** (1) : 2– 6. *doi* : [10.1002/jsfa.4650](#) . *PMID* 21969145 .
- Palaniappan, M. ; Gleick, PH (2008), « Peak Water », dans Gleick, PH ; Cooley, H. ; Morikawa, M. (dir.), [L'eau dans le monde 2008-2009 : Rapport biennal sur les ressources en eau douce](#) (PDF) , Island Press, *ISBN 978-1-59726-505-8*, archivé de [l'original](#) (PDF) le 20 mars 2009 Voir aussi : [Pic d'eau](#) .
- Petit, JR ; Jouzel, J; Raynaud, D; Barkov, NI ; Barnola, JM; Basile, moi ; Cintiouse, M; Chappellaz, J; Davis, M; Delaygue, G; Delmotte, M; Kotliakov, VM ; Legrand, M; Lipenkov, VY ; Lorius, C; Pépin, L; Ritz, C; Saltzman, E; Stievenard, M (1999), « [Histoire du climat et de l'atmosphère des 420 000 dernières années à partir de la carotte glaciaire de Vostok, Antarctique](#) » (PDF) , *Nature* , **399** (6735) : 429– 36, *Bibcode* : 1999Natur.399..429P , *doi* : [10.1038/20859](#) , *S2CID* : 204993577 , archivé à partir de [l'original](#) (PDF) le 17 novembre 2017, consulté le 7 juillet 2011.
- Rioual, P.; Andrieu-Ponel, VR; Riatti-Shati, M.; Battarbee, RW; De Beaulieu, JL; Cheddadi, R.; Reille, M.; Svobodova, H.; Shemesh, A. (2001), « Enregistrement haute résolution de la stabilité climatique en France durant la dernière période interglaciaire », *Nature* , **413** (6853) : 293– 296, *Bibcode* : 2001Natur.413..293R , *doi* : [10.1038/35095037](#) , *PMID* 11565028 , *S2CID* 4347303
- Rockström, Johan (26 octobre 2009), [Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity](#) (PDF) (présentation), Stockholm Resilience Centre, Biodiversité et services écosystémiques, Master Class, Assemblée générale [du Club de Rome](#) , 26 octobre 2009, archivé de [l'original](#) (PDF) le 14 novembre 2012, consulté le 3 juillet 2011
- Rockström, J ; et al. (2009), « [Limites planétaires : explorer l'espace de sécurité pour l'humanité](#) » (PDF) , *Écologie et Société* , **14** (2) : 32, *doi* : [10.5751/ES-03180-140232](#)
- Samper, C. (2009), « Limites planétaires : repenser la biodiversité », [commentaire], *Nature Reports Climate Change* , **1** (910) : 118– 119, *Bibcode* : 2009NatCC...1..118S , *doi* : [10.1038/climate.2009.99](#)
- Sandford, RN (2009), [Rétablir le flux : faire face aux problèmes mondiaux liés à l'eau](#) , Victoria BC : Rocky Mountain Books, *ISBN 978-1-897522-52-3*, archivé de l'original le 21 novembre 2021 , récupéré le 16 octobre 2020
- Schlesinger, WH (2009), « Limites planétaires : les seuils risquent une dégradation prolongée », [commentaire], *Nature Reports Climate Change* , **1** (910) : 112, *Bibcode* : 2009NatCC...1..112S , *doi* : [10.1038/climate.2009.93](#)

- Shiklomanov, IA; Rodda, JC, éd. (2003), [Les ressources mondiales en eau au début du XXI^e siècle](#) (PDF), Cambridge University Press, [Bibcode : 2004wwrb.book.....S](#), ISBN 978-0-521-61722-2, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 13 mars 2012, récupéré le 6 juillet 2011
- Steffen, W.; [Crutzen, PJ](#); McNeill, JR (2007), « L'Anthropocène : les humains dominent-ils désormais les grandes forces de la nature ? », *Ambio : A Journal of the Human Environment*, **36** (8) : 614– 21, [doi : 10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](#), [hdl : 1885/29029](#), ISSN 0044-7447, PMID 18240674, S2CID 16218015
- [Stern, Nicholas](#) (2007), *L'économie du changement climatique : la revue Stern*, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-70080-1, [archivé de l'original](#) le 7 avril 2010 La page Web inverse le titre du livre.
- « [Le Mémoire de Stockholm : faire pencher la balance vers la durabilité](#) » (PDF), *Ambio* (présentation), **40** (7), Troisième symposium des lauréats du prix Nobel sur la durabilité mondiale, Stockholm, 16-19 mai 2011, 18 mai 2011, [Bibcode : 2011Ambio..40..781.](#), [doi : 10.1007/s13280-011-0187-8](#), [PMC 3357746](#), PMID 22338715, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 23 mai 2011, consulté le 23 juin 2011.
- Turner, Graham (2008), [Une comparaison de The Limits to Growth avec trente ans de réalité](#) (PDF), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Sustainable Ecosystems, [archivé à partir de l'original](#) (PDF) le 28 novembre 2010
- [Programme des Nations Unies pour l'environnement](#) (2010), *Annuaire 2010 : Nouvelles avancées scientifiques et développements dans notre environnement en mutation* (PDF), Nairobi, Kenya : Programme des Nations Unies pour l'environnement. Division de l'alerte précoce et de l'évaluation, ISBN 978-92-807-3044-9, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 25 janvier 2011, récupéré le 2 juillet 2011
- Assemblée générale des Nations Unies (16 août 2010), [Mise en œuvre d'Action 21, du Programme relatif à la poursuite de la mise en œuvre d'Action 21 et des textes issus du Sommet mondial pour le développement durable](#) (PDF), Rapport du Secrétaire général à l'Assemblée générale des Nations Unies, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 3 juin 2012, récupéré le 26 octobre 2011
- Groupe de haut niveau des Nations Unies sur la durabilité mondiale (février 2011), [Rapport de réunion](#) (PDF), Deuxième réunion du Groupe, Le Cap, 24-25 février 2011, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 4 mars 2016, récupéré le 29 juin 2017
- Groupe de haut niveau des Nations Unies sur la durabilité mondiale (avril 2011), [Rapport de réunion](#) (PDF), Rapport de la réunion des sherpas du GSP tenue à Madrid (Espagne), les 13 et 14 avril 2011, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 4 mars 2016, récupéré le 29 juin 2017
- Groupe de haut niveau des Nations Unies sur la durabilité mondiale (2012). [Des populations résilientes, une planète résiliente : un avenir qui vaut la peine d'être choisi](#) (PDF) (Rapport). New York : Nations Unies. [Archivé](#) (PDF) de l'original le 8 février 2012. Consulté le 30 janvier 2012.
- van Vuuren, DP ; Faber, A. (2009), [Grandir dans les limites – Rapport à l'Assemblée mondiale 2009 du Club de Rome](#) (PDF), Agence néerlandaise d'évaluation environnementale, ISBN 978-90-6960-234-9
- Zalasiewicz, J. ; Williams, M. ; Steffen, W. ; Crutzen, P. (2010), « [Le Nouveau Monde de l'Anthropocène](#) » (PDF), *Environmental Science & Technology*, **44** (7) : 2228–2231, [Bibcode : 2010EnST...44.2228Z](#), [doi : 10.1021/es903118j](#), [hdl : 1885/36498](#), PMID : 20184359, [archivé](#) (PDF) à partir de l'original le 2 octobre 2011, consulté le 11 juillet 2011.

Liens externes



Wikimedia Commons propose des médias liés à [Limites planétaires](#) .

- [Les chiffres et les données](#) concernant les limites planétaires mises à jour sont disponibles sur le site Web [du Stockholm Resilience Centre](#) .
- [Limites planétaires : Spécial *Nature*](#) , 24 septembre 2009.
- [Johan Rockstrom : Laissons l'environnement guider notre développement. Vidéo TED](#) , juillet 2010. [Transcription HTML](#)
- [Les limites planétaires et leur signification pour l'avenir de l'humanité](#)