# La limite planÃ©taire pour lâ€™eau douce

Dossier de<br /> la rÃ©daction de H2o
November 2023

L'annonce faite le 13 septembre dernier du franchissement de la "limite planÃ©taire" pour l'eau douce n'Ã©tait pas un scoop puisque la mÃªme annonce avait dÃ©jÃ  Ã©tÃ© faite en avril 2022 par la mÃªme Ã©quipe du Stockholm Resilience Center. Cett annonce ne portait pas non plus sur un Ã©vÃ©nement rÃ©cent puisque ce franchissement date de plus d'un siÃ¨cle ! L'avis d'expert est nÃ©cessaire pour bien comprendre : voici celui de GÃ©rard PAYEN. H2o novembre 2023.

LA "LIMITE PLANÃ‰TAIRE" POUR L'EAU DOUCE

Que signifie concrÃ¨tement son "franchissement" ?
DÃ©frichage de l'annonce du Stockholm Resilience Center du 13 septembre 2023

GÃ©rard PAYEN

membre de l'AcadÃ©mie des technologies

vice-prÃ©sident du Partenariat FranÃ§ais pour l'Eau

H2o - novembre 2023

Â

RÃ‰SUMÃ‰

La "limite planÃ©taire de l'eau" dont le franchissement a Ã©tÃ© annoncÃ© en septembre 2023 est un concept scientifique Ã©volutif dont la signification peu intuitive est trÃ¨s Ã©loignÃ©e de la perception donnÃ©e par l'expression limite planÃ©taire en langage commun. Il y a donc un grand risque de mauvaise interprÃ©tation, risque accentuÃ© par l'accent spectaculaire mis sur des paramÃ¨tres non encore interprÃ©tÃ©s de faÃ§on claire en dÃ©tournant l'opinion publique des nombreux Ã©lÃ©ments factuels de la crise mondiale de l'eau.Â

Les "limites planÃ©taires" sont un concept et un rÃ©fÃ©rentiel structurÃ© imaginÃ© en 2009 par Johan RockstrÃ¶m et son Ã© du Stockholm Resilience Center. Ce rÃ©fÃ©rentiel contient des limites de sÃ©curitÃ© Ã  ne pas franchir pour 9 types de changements apportÃ©s par l'Homme au fonctionnement du systÃ¨me Terre depuis le dÃ©but de la pÃ©riode industrielle, changements dont l'ampleur est susceptible d'affecter de faÃ§on irrÃ©versible et dangereuse la durabilitÃ© de ce fonctionnement. Pour l'eau douce, le premier indicateur mondial choisi en 2009 Ã©tait le volume des prÃ©lÃ¨vements nets annuels. Un deuxiÃ¨me indicateur relatif Ã  l'humiditÃ© des sols a Ã©tÃ© ajoutÃ© en 2022, puis abandonnÃ©. Deux nouveaux indicateurs ont Ã©tÃ© introduits mi-2022 en remplacement des prÃ©cÃ©dents. Ils sont dÃ©crits dans l'encadrÃ© 3.

L'annonce mi-septembre 2023 du franchissement de la "limite planÃ©taire" de l'eau douce n'Ã©tait pas un scoop puisque la mÃªme annonce avait dÃ©jÃ  Ã©tÃ© faite en avril 2022 par la mÃªme Ã©quipe. Cette annonce ne portait pas non plus sur un Ã©vÃ©nement rÃ©cent puisque ce franchissement date de plus d'un siÃ¨cle ! En fait, deux "limites" ont Ã©tÃ© dÃ©clarÃ©es fra :Â  l'une en 1905, relative Ã  la variabilitÃ© des dÃ©bits dans les cours d'eau (indicateur "eau bleue"), qui est aujourd'hui plus forte qu'avant la pÃ©riode industrielle dans un plus grand nombre de rÃ©gions ; l'autre en 1929, relative Ã  la variabilitÃ© des taux d'humiditÃ© dans la tranche supÃ©rieure des sols (indicateur "eau verte") qui est Ã©galement aujourd'hui plus forte qu'avant la pÃ©riode industrielle dans un plus grand nombre de rÃ©gions. Dans les deux cas, dÃ©bits et taux d'humiditÃ©, des indicateurs mondiaux ont Ã©tÃ© construits Ã  partir des donnÃ©es issues d'un modÃ¨le hydro-climatique sur la pÃ©riode 1671-2005. Chacun mesure l'extension gÃ©ographique des zones dans lesquelles les valeurs mensuelles d'humiditÃ© ou de dÃ©bits s'Ã©cartent de leurs bandes de fluctuations prÃ©industrielles dÃ©finies comme les bandes dans lesquelles se trouvaient 90 % de ces valeurs mensuelles avant 1860. Chacun des deux indicateurs est stable par construction autour de 10 % avant 1860, puis montre une croissance rÃ©guliÃ¨re aprÃ¨s 1900. Certains dÃ©tails sont Ã©tonnants et nÃ©cessiteraient de mieux connaÃ®tre le fonctionnement du modÃ¨le et la signification de ses paramÃ¨tres dÃ©bits et humiditÃ©.

Ces changements de variabilitÃ© sont significatifs mais leurs consÃ©quences physiques sont difficiles Ã  identifier. Traduisent ils des dÃ©sÃ©quilibres nÃ©fastes Ã  l'Ã©chelle planÃ©taire ou des dÃ©sÃ©quilibres rÃ©els Ã  l'Ã©chelle locale sans grande c pour les Ã©quilibres planÃ©taires ?Â  Des recherches supplÃ©mentaires sont nÃ©cessaires pour explorer et comprendre les consÃ©quences Ã©ventuelles des augmentations depuis 1900 de ces deux indicateurs "eau bleue" et "eau verte".Â

Les auteurs du rÃ©fÃ©rentiel des "limites planÃ©taires" cherchaient depuis de nombreuses annÃ©es le moyen d'annoncer qu l'eau avait franchi sa "limite planÃ©taire". C'est en adoptant une approche conservatrice qu'ils ont pu dÃ©clarer que la "limite planÃ©taire" des changements de l'eau douce avait Ã©tÃ© franchie dÃ¨s 1905. En effet, en raison de l'ignorance des impacts rÃ©els des croissances des deux indicateurs prÃ©citÃ©s, c'est en faisant appel au principe de prÃ©caution qu'ils ont considÃ©r que la sÃ©curitÃ© Ã©tait de rester dans les limites des variabilitÃ©s prÃ©industrielles. Cependant la croissance d'un paramÃ¨tre n'est pas forcÃ©ment annonciatrice d'une catastrophe. Personne ne mesure aujourd'hui le danger rÃ©el correspondant Ã ces extensions gÃ©ographiques.Â

La communautÃ© de l'eau a besoin que des spÃ©cialistes de la modÃ©lisation hydro-climatique, d'une part explicitent le sens des deux paramÃ¨tres utilisÃ©s, d'autre part confirment la concordance des rÃ©sultats avec d'autres modÃ¨les. Par ailleurs, des recherches futures sont nÃ©cessaires pour identifier les impacts concrets de l'augmentation constatÃ©e de la variabilitÃ© des deux paramÃ¨tres, impacts aujourd'hui thÃ©oriques, afin de pouvoir utiliser en pratique les rÃ©sultats Ã©tablis par le Stockholm Resilience Center.

Â

LES FAITS

Le 13 septembre 2023, le Stockholm Resilience Center a annoncÃ© le franchissement de 6 "limites planÃ©taires" sur 9. Cette annonce incluait la transgression d'une sixiÃ¨me limite, celle relative Ã  l'eau douce. Elle faisait suite Ã  la parution ce mÃªme 13 septembre dans la revue Science Advance d'un article scientifique intitulÃ© "Earth beyond six of nine planetary boundaries" signÃ© par Katherine Richardson, Johan RockstrÃ¶m et 26 autres co-auteurs (rÃ©fÃ©rence 1).

ImmÃ©diatement, l'AFP a rÃ©agi et les mÃ©dias du monde entier se sont faits les relais de cette annonce avec des titres souvent angoissants centrÃ©s sur l'eau. En France, ce sont aussi bien les mÃ©dias grand public que des mÃ©dias spÃ©cialisÃ©s qui ont relayÃ© l'information : TF1, France Info, Huffington Post, Reporterre, Novethic, National Geographic, etc.Â  "Environnement : une sixiÃ¨me limite planÃ©taire vient d'Ãªtre franchie et elle concerne l'eau douce" (France Info), "Cycle de l'eau douce : une nouvelle limite planÃ©taire vient d'Ãªtre franchie" (Novethic), "La limite planÃ©taire du cycle de l'eau Ã  son tour dÃ©passÃ©e" (Reporterre)... Bien entendu, une telle annonce n'a pas manquÃ© de crÃ©er une forte Ã©motion Plusieurs spÃ©cialistes de l'eau l'ont relayÃ©e sur les rÃ©seaux sociaux comme si elle apportait un Ã©lÃément nouveau trÃ¨s important.Â  Elle est maintenant reprise Ã§Ã  et lÃ  pour appuyer des discours alarmistes sur l'eau.Â

Pourtant, si la ConfÃ©rence des Nations unies sur l'eau (tenue en mars 2023) a Ã©voquÃ© la "crise mondiale de l'eau" et si les discours sur l'eau ont raison d'Ãªtre alarmistes, ce n'est pas le travail scientifique Ã  la base de l'annonce du 13 septembre 2023 qui en apporte des justifications supplÃ©mentaires, ainsi que j'essaie de l'expliquer ci-aprÃ¨s.

Le "scoop" n'en Ã©tait lui-mÃªme pas un puisque : d'une part, la mÃªme annonce sur l'eau avait dÃ©jÃ  Ã©tÃ© mÃ©diatisÃ©e le avril 2022 (rÃ©fÃ©rence 3), et reprise par le rapport "SoutenabilitÃ©s" de France StratÃ©gie en 2022 ; d'autre part, le franchissement de la "limite planÃ©taire relative Ã  l'eau douce" par le systÃ¨me Terre ne date lui-mÃªme pas de cet Ã©tÃ© ; selon les auteurs du travail scientifique, il remonte Ã  plus d'un siÃ¨cle !Â

Ã€ noter que la communication et la publication de franchissement de cette sixiÃ¨me limite planÃ©taire s'appuie sur une publication relative Ã  l'eau ayant Ã©tÃ© diffusÃ©e en "preprint" sur Archiv, mais qui n'a pas encore Ã©tÃ© validÃ©e par un com de lecture.

QUE COMPRENDRE ?

Ã€ la base de ce concept de "limites planÃ©taires", il y a un Ã©norme travail scientifique sur prÃ¨s de 15 ans visant Ã  Ã©tablir rigoureusement des limites de sÃ©curitÃ© dans 9 domaines interdÃ©pendants mais distincts, du fonctionnement du systÃ¨me Terre. L'eau douce est l'un de ces 9 domaines identifiÃ©s dÃ¨s 2009.Â

Dire qu'une limite a Ã©tÃ© franchie est toujours inquiÃ©tant.Â

Mais quelle limite pour l'eau a-t-elle Ã©tÃ© franchie et que signifie ce franchissement ?Â

J'ai essayÃ© de trouver les rÃ©ponses Ã  ces deux questions en dÃ©frichant les nombreuses publications scientifiques des chercheurs travaillant avec le Stockholm Resilience Center sur les "limites planÃ©taires" depuis 2009 (voirÂ encadrÃ© 3). C'est riche et assez complexe. Il reste difficile de se reprÃ©senter facilement ces deux limites pour l'eau et l'apprÃ©hension des consÃ©quences concrÃ¨tes de leur franchissement nÃ©cessiterait encore de futures recherches.

Le risque est grand d'interprÃ©tations hÃ¢tives erronÃ©es et, par suite, de mauvaises dÃ©cisions.

Nous avons besoin de bien comprendre. Cet article dÃ©crit ce que j'ai compris Ã  ce jour mais, n'Ã©tant pas spÃ©cialiste des modÃ¨les hydro-climatiques, je ne suis pas certain d'avoir tout interprÃ©tÃ© correctement et ce n'est donc qu'une note de dÃ©frichage. J'espÃ¨re que d'autres pourront complÃ©ter ma comprÃ©hension encore incertaine du franchissement de cette "limite planÃ©taire".Â Â

En pratique, ce qui est appelÃ© la "limite planÃ©taire" de l'eau est formÃ© de deux sous-limites l'une relative Ã  "l'eau bleue", l'eau qui s'Ã©coule dans les cours d'eau et les nappes souterraines et l'autre Ã  "l'eau verte", celle qui tombe sur le sol et la vÃ©gÃ©tation avant de s'Ã©vaporer. Ces qualificatifs de limites colorÃ©es sont pratiques en communication mais leur signification risque d'Ãªtre bien Ã©loignÃ©e de ce qu'Ã©voquent ces notions auprÃ¨s des lecteurs.Â

LE CONCEPT DE "LIMITES PLANÃ‰TAIRES"

Les "limites planÃ©taires" sont un concept et un rÃ©fÃ©rentiel.

Le concept est liÃ© au passage de l'HolocÃ¨ne Ã  l'AnthropocÃ¨ne. Une "limite planÃ©taire" est une limite de sÃ©curitÃ© Ã  ne p franchir pour un type de changement apportÃ© par l'Homme au fonctionnement du systÃ¨me Terre depuis le dÃ©but de la pÃ©riode industrielle, changement dont l'ampleur est susceptible d'affecter de faÃ§on irrÃ©versible et dangereuse la durabilitÃ© de ce fonctionnement.

Le rÃ©fÃ©rentiel des "limites planÃ©taires" est un ensemble structurÃ© comprenant un petit nombre de grandeurs dont les changements sont surveillÃ©s avec une limite de sÃ©curitÃ© pour chacune d'entre elles. Le petit nombre facilite la communication sur les rÃ©sultats avec, en particulier, un diagramme-radar synthÃ©tique facile Ã  apprÃ©hender. Ce rÃ©fÃ©rer est dÃ©taillÃ© enÂ encadrÃ© 1.

LES "LIMITES PLANÃ‰TAIRES" DE L'EAU DOUCE

L'eau douce est l'un des 9 secteurs du rÃ©fÃ©rentiel. Initialement en 2009, le processus surveillÃ© Ã©tait celui des prÃ©lÃ¨vements d'eau bleue par les activitÃ©s humaines. Sa situation actuelle s'est rÃ©vÃ©lÃ©e dans sa zone de sÃ©curitÃ©.

Un second processus, celui de "l'eau verte" a Ã©tÃ© examinÃ© et un indicateur relatif Ã  la variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols la planÃ¨te a Ã©tÃ© bÃ¢ti. Ne donnant pas des rÃ©sultats trÃ¨s nets, il a Ã©tÃ© trÃ¨s vite remplacÃ© en 2022 par un nouvel indicateur, assez semblable mais Ã©tabli sur la base d'un modÃ¨le hydro-climatique diffÃ©rent. Ce nouvel indicateur mesure l'extension gÃ©ographique des zones dans lesquelles les valeurs mensuelles d'humiditÃ© des sols s'Ã©cartent de leurs bandes locales de fluctuations prÃ©industrielles dÃ©finies comme les bandes dans lesquelles se trouvaient 90 % de ces valeurs mensuelles avant 1860. Par construction, cet indicateur est quasi stable autour de 10 % pendant les deux siÃ¨cles antÃ©rieurs Ã  1860 mais le modÃ¨le montre une croissance rÃ©guliÃ¨re depuis cette date. La signification profonde de cette croissance de variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols et ses impacts sur le fonctionnement du systÃ¨me Terre restent Ã clarifier. Les connaissances actuelles ne permettant pas d'identifier une zone dangereuse et la valeur du changement qui y ferait entrer, la bande de sÃ©curitÃ© locale de cet indicateur a Ã©tÃ© arbitrairement fixÃ©e Ã  la situation prÃ©-industrielle c'est-Ã -dire Ã  la bande de fluctuations dans lesquelles se trouvaient 90 % des valeurs mensuelles locales avant 1860. La "limite de sÃ©curitÃ©" planÃ©taire a ainsi fixÃ©e par prÃ©caution Ã  11,1 % de la surface non gelÃ©e des continents dans lesq les valeurs mensuelles sortaient de cette bande. Elle a Ã©tÃ© franchie en 1929 pour atteindre actuellement 15,8 % de la surface des continents.Â

En 2022, l'indicateur relatif aux prÃ©lÃ¨vements d'eau bleue a Ã©tÃ© abandonnÃ© et remplacÃ© par un indicateur relatif Ã  la variabilitÃ© des dÃ©bits d'eau dans les rÃ©seaux hydrographiques. Cet indicateur mesure l'extension gÃ©ographique des zones dans lesquelles les valeurs mensuelles de dÃ©bits s'Ã©cartent de leurs bandes de fluctuation prÃ©industrielle. Par construction, cet indicateur est quasi stable autour de 10 % pendant les deux siÃ¨cles antÃ©rieurs Ã  1860. Le modÃ¨le hydro-climatique utilisÃ© montre une croissance rÃ©guliÃ¨re depuis cette date. La signification profonde de cet indicateur et des impacts de son augmentation sur le fonctionnement du systÃ¨me Terre restent Ã  clarifier. Les connaissances actuelles ne permettant pas d'identifier une zone dangereuse et la valeur de l'indicateur qui y ferait entrer, la bande de sÃ©curitÃ© de cet indicateur a Ã©tÃ© fixÃ©e localement "par prÃ©caution" Ã  la situation prÃ©industrielle, c'est-Ã -dire Ã  la ba fluctuations dans lesquelles se trouvaient 90 % de ces valeurs mensuelles locales avant 1860. La "limite de sÃ©curitÃ©" planÃ©taire a ainsi fixÃ©e arbitrairement Ã  10,2 %. Elle a Ã©tÃ© franchie en 1905 pour atteindre actuellement 18,2 % de la surface des continents.Â  Â  Â Â

Ainsi, ce qu'on appelle le "franchissement de la limite de sÃ©curitÃ©" de l'eau douce est en rÃ©alitÃ© les franchissements concomitants de deux "limites" de prÃ©caution, l'une relative Ã  la variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols, et l'autre relative Ã  la variabilitÃ© des dÃ©bits dans les cours d'eau. L'une et l'autre sont dÃ©passÃ©es depuis environ un siÃ¨cle.

La construction de ces deux indicateurs est dÃ©taillÃ©e dans l'encadrÃ© 3.

DISCUSSION

Des interrogations sur les dÃ©tails de la mÃ©thode

N'ayant aucune compÃ©tence en matiÃ¨re de modÃ©lisation planÃ©taire hydro-climatique, je n'ai Ã  ce stade aucun avis tant sur le degrÃ© de confiance que l'on peut avoir dans le modÃ¨le ISIMIP 2b utilisÃ© par les auteurs, sur la signification physique des donnÃ©es journaliÃ¨res d'humiditÃ© et de dÃ©bits qu'il attribue Ã  des mailles de plusieurs dizaines de kilomÃ¨tres de cÃ´tÃ©, ou encore sur le niveau de corrÃ©lation entre ces donnÃ©es et les mesures constatÃ©es sur le terrain.Â

Je suis Ã©tonnÃ© par certains rÃ©sultats comme : la proportion de rÃ©sultats considÃ©rÃ©s comme aberrants (les 30 annÃ©e 1861-1890 sur les 154 ans de la pÃ©riode d'analyse 1861-2005 !) ; les diffÃ©rences d'ampleur et de rythme de variations de l'indicateur d'humiditÃ© par rapport Ã  l'Ã©tude de 2022 utilisant un indicateur trÃ¨s voisin mais des modÃ¨les hydro-

climatiques diffÃ©rents ; les fortes discontinuitÃ©s des indicateurs en 1860.Â  Par ailleurs, la norme en matiÃ¨re climatique Ã©tant plutÃ´t aujourd'hui de ne tirer des enseignements qu'Ã  partir d'analyses multi-modÃ¨les, l'utilisation ici d'un modÃ¨le hydro-climatique unique limite la confiance dans la possibilitÃ© d'utiliser les rÃ©sultats. Toutefois, ces interrogations ne doivent pas masquer la rÃ©alitÃ© du travail scientifique. Il est important et paraÃ®t solide.

Des difficultÃ©s d'interprÃ©tation des rÃ©sultats

Les indicateurs planÃ©taires utilisÃ©s relatifs Ã  la variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols et aux dÃ©bits dans les cours d'eau sont difficiles Ã  se reprÃ©senter physiquement. Avec le modÃ¨le utilisÃ©, ils montrent clairement une quasi stabilitÃ© de 1690 Ã 1860, puis une croissance quasi continue depuis 1900. Comme en dÃ©duisent les auteurs, cette croissance peut Ãªtre attribuÃ©e aux activitÃ©s humaines en raison des prÃ©lÃ¨vements croissants d'eau douce et des changements climatiques dus aux Ã©missions de gaz Ã  effet de serre depuis le dÃ©but de la pÃ©riode industrielle.Â

Une grande difficultÃ© est de savoir si la croissance de ces indicateurs conduit Ã  des perturbations dangereuses du fonctionnement du systÃ¨me Terre. En effet, s'il y a clairement davantage de zones oÃ¹ la variabilitÃ© actuelle des dÃ©bits ou de l'humiditÃ© des sols excÃ¨de la variabilitÃ© de la pÃ©riode prÃ©industrielle, quelles en sont les consÃ©quences physique ?

S'agissant du premier indicateur "eau bleue" utilisÃ© de 2009 Ã  2022, la limite de sÃ©curitÃ© avait un sens physique clair. Il s'agissait chaque annÃ©e de ne pas prÃ©lever davantage que les volumes renouvelÃ©s annuellement. La forte baisse de certaines nappes souterraines ou la transformation de certains grands fleuves en oueds assÃ©chÃ©s temporairement du fait de pompages excessifs sont la manifestation apparente de ce risque. S'agissant des nouveaux indicateurs, les consÃ©quences de leurs hausses sont peu Ã©videntes, ce qui gÃªne l'Ã©tablissement de limites de sÃ©curitÃ©.

Localement, le fait que des cours d'eau aient des dÃ©bits fortement modifiÃ©s du fait des prÃ©lÃ¨vements et des rejets humains est manifeste. Les changements climatiques impactent aussi les rÃ©gimes hydrographiques et apportent davantage de situations extrÃªmes, inondations ou sÃ©cheresses. Il en va de mÃªme pour l'humiditÃ© des sols. Les auteurs de la publication ont cherchÃ© Ã  sÃ©parer les impacts directs des activitÃ©s humaines de leurs impacts indirects via le rÃ©chauffement climatique. Toutefois, ils n'ont pu le faire car ils n'ont pas eu accÃ¨s aux modÃ©lisations correspondantes.

Ã€ l'Ã©chelle du globe, quels sont les impacts des augmentations des surfaces dans lesquelles ces dÃ©bits ou ces taux d'humiditÃ© sont perturbÃ©s ? Ces augmentations traduisent-elles des dÃ©sÃ©quilibres nÃ©fastes Ã  l'Ã©chelle planÃ©taire ou dÃ©sÃ©quilibres rÃ©els Ã  l'Ã©chelle locale, mais sans grande consÃ©quence pour les Ã©quilibres planÃ©taires ?Â Â

Je subodore que personne ne le sait aujourd'hui. Des recherches supplÃ©mentaires sont nÃ©cessaires pour explorer et comprendre les consÃ©quences Ã©ventuelles des augmentations de ces deux indicateurs "eau bleue" et "eau verte" depuis 1900.

Une approche conservatrice

Les auteurs du rÃ©fÃ©rentiel des "limites planÃ©taires" ont adoptÃ© une approche trÃ¨s conservatrice pour dÃ©clarer dÃ¨s aujourd'hui que la "limite planÃ©taire" des changements de l'eau douce avait Ã©tÃ© franchie dÃ¨s 1909. En effet, c'est l'ignorance des impacts rÃ©els des augmentations des indicateurs planÃ©taires qui, par prÃ©caution, les ont conduits Ã considÃ©rer que la sÃ©curitÃ© Ã©tait de rester dans les limites de variabilitÃ©s prÃ©industrielles. Cependant la croissance d'un paramÃ¨tre n'est pas forcÃ©ment annonciatrice d'une catastrophe.Â

Un essai d'interprÃ©tation physique

Deux phÃ©nomÃ¨nes connus pourraient expliquer, au moins partiellement, l'Ã©loignement progressif au cours du XXe siÃ¨cle des deux paramÃ¨tres Ã©tudiÃ©s de leur bande de variabilitÃ© pendant la pÃ©riode prÃ©industrielle :

L'Ã©vaporation directe due au rÃ©chauffement - Le rÃ©chauffement climatique augmente la tempÃ©rature moyenne des sols, ce qui conduit Ã  une Ã©vaporation immÃ©diate plus forte des pluies, et donc Ã  une rÃ©duction des quantitÃ©s d'eaux bleue et verte disponibles. Ce phÃ©nomÃ¨ne affecte en particulier la France mÃ©tropolitaine.

L'Ã©vaporation rÃ©sultant des activitÃ©s humaines - Il est clair que certains prÃ©lÃ¨vements conduisent Ã  Ã©vaporer l'eau prÃ©levÃ©e et, par consÃ©quence, tendent Ã  rÃ©duire les flux "d'eau bleue" dans les rÃ©seaux hydrographiques. Principalement consacrÃ©s Ã  l'irrigation, ces prÃ©lÃ¨vements augmentent depuis le dÃ©but du XXe siÃ¨cle. Aujourd'hui, 18 % des ressources en eau bleue renouvelÃ©es annuellement (indicateur ONU ODD 6.4.2), hors dÃ©bits minimums pour les Ã©cosystÃ¨mes, sont prÃ©levÃ©es par l'homme dont 13,2 % pour la seule agriculture. Or, les prÃ©lÃ¨vements pour irrigation se transforment Ã  prÃ¨s de 90 % en Ã©vapotranspiration des plantes. Ces prÃ©lÃ¨vements agricoles ont quadruplÃ© depuis 1900 oÃ¹ ils ne reprÃ©sentaient qu'environ 3 % des ressources renouvelÃ©es. Grosso modo, on peut en dÃ©duire que 9 Ã  10 % de "l'eau bleue" qui Ã©tait disponible annuellement en 1900 est aujourd'hui dÃ©tournÃ©e annuellement du rÃ©seau hydrographique et des stockages souterrains pour Ãªtre Ã©vaporÃ©e, ce qui rÃ©duit d'autant la quantitÃ© d'eau bleue dans le milieu naturel. Au niveau d'un mois - Ã©chelle de temps utilisÃ©e dans les calculs de variabilitÃ© des auteurs -Â  ce n'est pas seulement 10 % mais plusieurs dizaines de pourcents des taux de prÃ©lÃ¨vements entre 1900 et 2000 qui peuvent disparaÃ®tre en pÃ©riode sÃ¨che, soit une variation probablement significative au regard de la bande de variabilitÃ© prÃ©industrielle utilisÃ©e comme rÃ©fÃ©rence. L'augmentation des quantitÃ©s d'eau Ã©vaporÃ©es du fait des activitÃ©s humainesÂ  serait une interprÃ©tation cohÃ©rente avec le fait que l'essentiel des augmentations de variabilitÃ© de dÃ©bits est du cÃ´tÃ© "dÃ©bit plus faible qu'avant" non du cÃ´tÃ© "dÃ©bit supÃ©rieur Ã  avant".

Ces deux aspects ne seraient-ils pas suffisants pour expliquer les rÃ©sultats de l'Ã©tude ? Si tel Ã©tait le cas, il serait plus aisÃ© d'imaginer le sens local de la limite de sÃ©curitÃ© pour la variabilitÃ© des dÃ©bits. â–„Â

Â

RÃ©fÃ©rences

1. Katherine Richardson et al., "Earth beyond six of nine planetary boundaries" -Â Science Advances Volume 9, Issue 37, September 2023

2. Gleeson et al, "The water planetary boundary: Interrogation and revision" -Â One Earth Volume 2, Issue 3, 20 March 2020, pp. 223-234

3. L. Wang-Erlandsson et al., "A planetary boundary for green water" -Â Nature Reviews Earth & Environment 3, 380-392 (2022)Â Â

4. Porkka et al., "Global water cycle shifts far beyond pre-industrial conditions - planetary boundary for freshwater change transgressed" -Â EarthArxiv 2022Â Â Â

Â

EncadrÃ© 1 - LE RÃ‰FÃ‰RENTIEL DES "LIMITES PLANÃ‰TAIRES"Â Î›

Le rÃ©fÃ©rentiel des "limites planÃ©taires" est structurÃ© selon 5 familles d'Ã©lÃ©ments qui ont Ã©tÃ© affinÃ©s au cours du comprend Ã©galement une reprÃ©sentation graphique des rÃ©sultats en forme de rosace. Un premier rÃ©fÃ©rentiel, incomplet a Ã©tÃ© publiÃ© en 2009. Une premiÃ¨re rÃ©vision d'ensemble a eu lieu en 2015, puis une deuxiÃ¨me en 2023. Ce n'est que depuis 2023 que le rÃ©fÃ©rentiel est complet.

Un cadre gÃ©nÃ©ral - Lorsqu'en 2009, Johan Rockstrom et ses collÃ¨gues (dont M. Falkenmark) crÃ©Ã¨rent le concept de "limites planÃ©taires" sÃ©parant une zone de sÃ©curitÃ© d'une zone de risques pour le systÃ¨me Terre, ils prÃ©sentÃ¨rent 9 "rÃ©gulateurs", c'est-Ã -dire 9 systÃ¨mes et processus biophysiques qui rÃ©gulent l'Ã©tat et la rÃ©silience du systÃ¨me Terre. DÃ¨s 2009, le rÃ©fÃ©rentiel proposÃ© a ainsi comportÃ© une structure en 9 domaines appelÃ©s aujourd'hui "processus" avec, pour chacun, la recherche de grandeurs Ã©volutives Ã  surveiller.

Bien qu'incomplÃ¨te, la version 2009 incluait dÃ©jÃ  le diagramme-radar (dit aussi "roue" ou "rosace") Ã  9 secteurs qui sera prÃ©servÃ© dans toutes les versions. Ce chiffre de 9 semble davantage rÃ©pondre Ã  une volontÃ© de simplifier la communication qu'Ã  une nÃ©cessitÃ© scientifique. En effet, si les grandeurs Ã  surveiller se sont multipliÃ©es au cours du temps, les nouvelles grandeurs sont classÃ©es en tant que sous-secteurs plutÃ´t qu'en nouveaux secteurs. Ainsi en 2009, un seul secteur Ã©tait divisÃ© en 2 sous-secteurs. En 2023, c'est le cas pour 4 secteurs sur 9.

En mai 2023, une variante a Ã©tÃ© produite pour ajouter la notion de justice Ã  celle de sÃ©curitÃ©. L'Ã©quipe initiatrice des "limites planÃ©taires" a publiÃ© un rÃ©fÃ©rentiel de "limites justes et sÃ»res du systÃ¨me Terre" ("Safe and just Earth system boundaries") en reprenant la mÃªme structure mais en affinant le concept de limite avec deux seuils : un seuil de sÃ©curitÃ©

et un seuil de justice atteint avant le prÃ©cÃ©dent. De faÃ§on surprenante, cette variante ne comporte que 8 secteurs et des grandeurs lÃ©gÃ¨rement modifiÃ©es par rapport aux "limites planÃ©taires". Cette exploration de la notion de "limites justes" n'a cependant pas conduit Ã  modifier le rÃ©fÃ©rentiel des "limites planÃ©taires".

Dans les deux cas, ce sont les changements par rapport Ã  la pÃ©riode de l'HolocÃ¨ne interglaciaire prÃ©industriel, commencÃ© il y a 11 700 ans, qui sont estimÃ©s et dont le caractÃ¨re acceptable ou risquÃ© est explorÃ©.

Des domaines piliers du fonctionnement du systÃ¨me Terre - En 2009, les 9 "processus" retenus comme majeurs pour l'Ã©volution du systÃ¨me Terre Ã©taient :

- le changement climatique,Â
- l'acidification des ocÃ©ans,Â
- la rÃ©duction de la quantitÃ© d'ozone dans l'atmosphÃ¨re,Â
- les flux "biogÃ©ochimiques" (en pratique, le phosphore et l'azote),Â
- l'usage de l'eau douce, les changements d'affectation des sols,Â
- la perte de biodiversitÃ©,Â
- le rejet d'aÃ©rosols dans l'atmosphÃ¨re,Â
- la pollution chimique.

Certains de ces processus ont Ã©tÃ© prÃ©cisÃ©s ou amendÃ©s au cours du temps.

En 2023, les 9 "processus" rÃ©visÃ©s sont appelÃ©s :

- le changement climatique,Â
- l'acidification des ocÃ©ans,Â
- la quantitÃ© d'ozone dans l'atmosphÃ¨re,Â
- les flux "biogÃ©ochimiques" (en pratique, le phosphore et l'azote),Â
- les changements de l'eau douce (et non plus son usage),Â
- les changements d'affectation des sols,Â
- l'intÃ©gritÃ© de la biosphÃ¨re (et non plus seulement la perte de biodiversitÃ©),Â
- le rejet d'aÃ©rosols dans l'atmosphÃ¨re,Â
- les nouveaux produits (c'est-Ã -dire les produits chimique de synthÃ¨se qui ne prÃ©existaient pas dans la nature).Â Â Â

Des grandeurs Ã  surveiller dans ces domaines - En 2009, 10 processus ou sous-processus Ã©taient identifiÃ©s. En 2023, leur nombre est passÃ© Ã  13. Le changement climatique, les flux biogÃ©ochimiques, l'eau douce et l'intÃ©gritÃ© de la biosphÃ¨re sont ainsi chacun dÃ©composÃ©s en deux sous-secteurs. Pour chaque grandeur, c'est un indicateur Ã  l'Ã©chelle planÃ©taire qui est recherchÃ©. Dans certains cas, des valeurs rÃ©gionales sont Ã©galement calculÃ©es. Ã€ l'instar de la tempÃ©rature moyenne, les indicateurs calculÃ©s Ã  l'Ã©chelle du globe sont souvent des agrÃ©gats ou des moyennes qui n'o pas de signification physique. Mais, comme ils sont calculÃ©s de la mÃªme faÃ§on Ã  plusieurs dates, leurs variations dans le temps peuvent traduire des Ã©volutions physiques.

Pour chaque grandeur, ce sont les changements par rapport Ã  la pÃ©riode de l'HolocÃ¨ne prÃ©industriel qui sont analysÃ©s. Toutes ces changements ne sont pas quantifiables. Ainsi pour plusieurs grandeurs, par exemple pour les flux de produits chimiques artificiels, c'est un raisonnement et non une estimation chiffrÃ©e qui permet de considÃ©rer que des limites de sÃ©curitÃ© ont Ã©tÃ© dÃ©passÃ©es.

Des limites de sÃ©curitÃ© pour les variations de ces grandeurs depuis le dÃ©but de la pÃ©riode industrielle - Les limites qui sont fixÃ©es ne sont pas des points de bascule. Ce sont des limites de sÃ©curitÃ© Ã  ne pas franchir pour ne pas risquer d'entrer dans une zone dangereuse. Dans la version de 2009, celles-ci Ã©taient fixÃ©es Ã  la limite basse des incertitudes scientifiques. Dans la version de 2003, elles sont redÃ©finies comme Ã©tant Ã  la limite basse de la zone de risque. Si la zone de risque est difficile Ã  Ã©valuer prÃ©cisÃ©ment, les auteurs utilisent le principe de prÃ©caution, ce qui peut Ãªtre trÃ¨s conservateur mais nul ne peut le prouver.

Les estimations des situations actuelles de chaque grandeur par rapport Ã  ces limites - Le rÃ©fÃ©rentiel des "limites planÃ©taires" n'est pas seulement un ensemble de limites de sÃ©curitÃ©. C'est aussi une Ã©valuation de la situation actuelle par rapport Ã  ces limites. Pour chaque grandeur, la situation actuelle de l'indicateur correspondant est estimÃ©e, puis comparÃ©e Ã  la limite fixÃ©e.

Un diagramme-radar ou "rosace" comparant limites et situations actuelles - Le diagramme-radar, ou "rosace", est la forme visuelle adoptÃ©e depuis 2009 pour prÃ©senter l'ensemble du rÃ©fÃ©rentiel de faÃ§on synthÃ©tique. Cela fonctionne bi puisqu'on y repÃ¨re facilement les domaines et sous-domaines, les limites et la situation actuelle pour chacune des 13 grandeurs surveillÃ©es.Â Le rÃ©fÃ©rentiel 2023 contient ainsi :

- un cadre structurÃ© en 9 secteurs dont 4 sont dÃ©composÃ©s en 2 sous-secteurs,Â

- 13 indicateurs mondiaux de changements,Â

- 12 limites quantifiÃ©es des variations dans le temps de 12 indicateurs depuis le dÃ©but de la pÃ©riode industrielle, limites fixÃ©es pour s'assurer que le fonctionnement du systÃ¨me Terre reste dans une zone de sÃ©curitÃ©,Â

- une comparaison entre les variations de ces indicateurs depuis la fin du XIXe siÃ¨cle et ces limites.Â

Â

La rosace de 2023 des "limites" et "sous-limites plnÃ©taires"

Extrait de la Fig. 1 de l'article "Earth beyond six of nine planetary boundaries",Â Katherine Richardson et al.

Science AdvancesÂ Volume 9, Issue 37, September 2023

Â

Â EncadrÃ© 2 - LES SIMILITUDES DE STRUCTURE AVEC LE RÃ‰FÃ‰RENTIEL DES ODDÂ Î›

Bien que leurs objets soient trÃ¨s diffÃ©rents, le rÃ©fÃ©rentiel des Objectifs de dÃ©veloppement durable (ODD), appelÃ© Ag 2030, et celui des "limites planÃ©taires" ont des similitudes de structure. On peut les visualiser dans le tableau ci-dessous.

Dans les deux cas, les sujets sont rassemblÃ©s en petit nombre de domaines, 17 pour les ODD, 9 pour les "limites planÃ©taires".Â  Leur existence vise surtout Ã  faciliter la communication. En effet, pour les ODD, il s'agit de domaines regroupant chacun plusieurs objectifs sans Ãªtre des objectifs en eux-mÃªmes. Pour les "limites planÃ©taires", il s'agit de respecter le chiffre initial de 9 mÃªme si aujourd'hui ce ne sont pas 9 mais 13 processus physiques qui sont suivis.

Dans les deux cas, des indicateurs mondiaux font l'objet d'un suivi dans le temps et leurs valeurs actuelles sont comparÃ©es avec des valeurs fixÃ©es. La principale diffÃ©rence structurelle est la nature de ces valeurs fixÃ©es : pour les ODD, il s'agit de valeurs Ã  atteindre, pour les "limites planÃ©taires", il s'agit de limites Ã  ne pas dÃ©passer.Â

RÃ©fÃ©rentielAgenda 2030Limites planÃ©taires

Domaines/secteurs
17 ODD
9 processus physiques

Sous-secteurs
s/o
13 grandeurs

Indicateurs
232 indicateurs
13 indicateurs

Comparaison avec le prÃ©sent de
169 cibles/objectifs
13 limites de sÃ©curitÃ©

Â

Â EncadrÃ© 3 - LES "LIMITES PLANÃ‰TAIRES" DE L'EAU DOUCEÂ Î›

E-3.1. Une histoire en trois Ã©tapes

L'eau douce a fait l'objet d'un premier indicateur en 2009 puis d'un deuxiÃ¨me en avril 2022. Finalement ces deux indicateurs ont Ã©tÃ© abandonnÃ©s et remplacÃ©s par deux nouveaux indicateurs en juillet 2022. Lorsqu'on dit aujourd'hui que "la limite planÃ©taire pour l'eau douce" a Ã©tÃ© transgressÃ©e, il s'agit donc d'une "limite planÃ©taire" diffÃ©rente de celle qui existÃ© jusqu'en 2022.

Le rÃ©fÃ©rentiel de 2009 - En 2009, l'un des 9 rÃ©gulateurs (on dit aujourd'hui "processus") Ã©tait la "consommation d'eau douce". L'indicateur utilisÃ© Ã©tait le volume mondial des prÃ©lÃ¨vements annuels nets d'eau bleue. Il Ã©tait considÃ©rÃ© Ã l'Ã©poque qu'il rÃ©gule l'ensemble eau bleue-eau verte.Les limites et volumes suivants ont Ã©tÃ© estimÃ©s :

PublicationLimite>190020002000/1900Limite <190020002000/1900

Wang et al.
ca 7%
7,4%
9,1%
+23%
ca 6%
8,8%
8,4%
-5%

Porkka et al.
5%
ca 4,7%
ca 7,2%
+53 %
4,8%
ca 5%
ca 8%
+60%

Wang vs Porkka
40%
57%
26%
Â
25%
60%
5%
Â

Cependant, alors que plusieurs "limites planÃ©taires" Ã©taient franchies, avec 2 600 km3/an l'indicateur Eau restait dans la "zone de sÃ©curitÃ©", ce qui Ã©tait en dÃ©saccord avec la perception de risques Ã©levÃ©s dans le domaine. Une recherche a alors Ã©tÃ© menÃ©e pour identifier un indicateur Eau additionnel qui serait pertinent et dont la zone de risque serait atteinte.

En 2013, l'Ã©quipe du Stockholm Resilience Center prend en compte les flux minimaux environnementaux des cours d'eau, ce qui abaisserait la limite de la zone de sÃ©curitÃ© pour les prÃ©lÃ¨vements nets Ã  2 800 km3/an, moyenne de la trÃ¨s large fourchette 1 100 km3/an-4 500 km3/an. Cette nouvelle valeur est entachÃ©e elle-mÃªme d'une grande incertitude et ne peut pas conduire Ã  affirmer que le systÃ¨me Terre est hors de la zone de sÃ©curitÃ©.

En 2015, le cadre conceptuel des 9 rÃ©gulateurs a Ã©tÃ© affinÃ© en conservant toujours 9 domaines mais avec des sous-indicateurs. Le domaine Eau n'a cependant pas Ã©tÃ© modifiÃ©.

En 2020, l'Ã©quipe analyse en dÃ©tail les insuffisances de l'indicateur des prÃ©lÃ¨vements nets et propose d'ajouter d'autres "sous-indicateurs" au domaine Eau. Dans un article publiÃ© par Gleeson et al. (rÃ©fÃ©rence 2), l'Ã©quipe explore 6 diffÃ©rents indicateurs possibles.

Le rÃ©fÃ©rentiel modifiÃ© d'avril 2022 - En avril 2022, l'Ã©quipe conclut son exploration en comparant 3 indicateurs potentiels et en retient finalement un seul. Les auteurs d'une nouvelle publication (rÃ©fÃ©rence 3) proposent ainsi d'ajouter Ã l'indicateur des prÃ©lÃ¨vements d'eau bleue un indicateur relatif aux variations d'humiditÃ© des sols.Â

Le domaine liÃ© Ã  l'eau douce est alors changÃ© de "consommation d'eau douce" en "changements relatifs Ã  l'eau douce". Il est dorÃ©navant structurÃ© en 2 sous-domaines appelÃ©s "eau verte" et "eau bleue" :

- l'indicateur "Eau bleue" reste inchangÃ©. C'est celui de 2009 sur les prÃ©lÃ¨vements annuels nets d'eau bleue et il reste dans le vert, c'est-Ã -dire en deÃ§Ã  de sa limite de sÃ©curitÃ© ;

- l'indicateur "Eau verte" est un nouvel indicateur relatif Ã  la variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols. L'augmentation significative de cette variabilitÃ© entre l'HolocÃ¨ne et la pÃ©riode industrielle fait considÃ©rer que cet indicateur est dÃ©jÃ  entrÃ© dans sa zone de risque.Â  C'est ce qui a conduit le Stockholm Resilience Center Ã  annoncer le 26 avril 2022 qu'une sixiÃ¨me "limite planÃ©taire" Ã©tait franchie.

Les nouvelles limites de juillet 2022 - Manifestement, la conception du nouvel indicateur "Eau verte" sur la variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols a donnÃ© des idÃ©es pour bÃ¢tir un nouvel indicateur "Eau bleue" sur le mÃªme modÃ¨le.

C'est l'objet d'une nouvelle publication en juillet 2022 qui : pour "l'eau verte", modifie la construction de l'indicateur relatif Ã  la variabilitÃ© de l'humiditÃ© des sols. Les variations du nouvel indicateur sur le XXe siÃ¨cle sont bien plus importantes que pour le prÃ©cÃ©dent. Cela confirme l'idÃ©e que "l'eau verte" est entrÃ©e dans sa zone de risque ; pour "l'eau bleue", remplace l'ancien indicateur liÃ©s aux prÃ©lÃ¨vements par un indicateur relatif Ã  la variabilitÃ© des dÃ©bits dans les rÃ©seaux hydrographiques. Cet indicateur peu variable avant la pÃ©riode industrielle est en croissance continue depuis la fin du XIXe siÃ¨cle. Sa hausse sensible le fait considÃ©rer par prÃ©caution comme entrÃ© lui aussi dans sa zone de risque.

Ainsi, aprÃ¨s l'abandon de l'indicateur de 2009 qui restait dans sa zone de sÃ©curitÃ©, le domaine "Eau douce" se retrouve ainsi avec deux indicateurs entrÃ©s dans leur zone de risque. Cette situation est consacrÃ©e dans la rÃ©vision d'ensemble des "limites planÃ©taires" de 2023. Cette derniÃ¨re publication place les deux indicateurs "Eau douce" dans des zones de "risque modÃ©rÃ©" figurÃ©es en jaune sur le diagramme-radar.

E-3.2 Eau verte : l'indicateur de variabilitÃ© d'humiditÃ© des sols

"L'eau verte" est l'eau apportÃ©e par les prÃ©cipitations qui ne coule pas car elle est absorbÃ©e par les plantes ou les sols. L'Ã©quipe liÃ©e au Stockholm Resilience Center a retenu la variabilitÃ© de l'humiditÃ© de la partie supÃ©rieure du sol, celle qui est accessible aux plantes, comme grandeur Ã  surveiller relative Ã  l'eau verte.

Localement, cette humiditÃ© varie constamment avec des pÃ©riodes plus sÃ¨ches que la moyenne et des pÃ©riodes plus humides. L'ampleur des fluctuations annuelles est considÃ©rÃ©e comme assez stable dans la pÃ©riode prÃ©industrielle. Les valeurs annuelles de cette pÃ©riode permettent de calculer les valeurs hautes et basses d'un corridor statistique 5 %-95 %. Dans la pÃ©riode antÃ©rieure Ã  1860 utilisÃ©e comme rÃ©fÃ©rence, les 5% de cas plus humides et les 5 % de cas plus secs se trouvent Ã  l'extÃ©rieur de ce corridor local.

L'indicateur suivi au niveau planÃ©taire est pour une pÃ©riode donnÃ©e (annÃ©e ou mois selon les cas) le pourcentage de la surface continentale non gelÃ©e dans laquelle le taux local d'humiditÃ© du sol sort du corridor de rÃ©fÃ©rence local. Pendant la pÃ©riode de rÃ©fÃ©rence prÃ©-1860, les composantes de cet indicateur local oscillent par construction autour de 5 % du cÃ´tÃ© sec et de 5 % du cÃ´tÃ© humide, soit autour de 10 % au total. Un corridor de rÃ©fÃ©rence de la variabilitÃ© prÃ©industrielle globale est dÃ©terminÃ© en prenant pour chaque cÃ´tÃ© la valeur de l'indicateur planÃ©taire (pourcentage de la surface) qui n'est dÃ©passÃ©e que 5 % du temps, soit au total une valeur de l'indicateurÂ  Ã  quelques points de pourcentage au-dessus de 10 %.

Il est Ã  noter que cet "indicateur planÃ©taire eau verteÂ» combine deux phÃ©nomÃ¨nes physiques sous-jacents trÃ¨s diffÃ©rents: l'excÃ¨s inhabituel d'humiditÃ© et la sÃ©cheresse inhabituelle des sols. Les Ã©volutions dans le temps de "l'indicateur planÃ©taire" peuvent ainsi masquer des diffÃ©rences d'Ã©volutions de ces deux phÃ©nomÃ¨nes.

BÃ¢tir un indicateur mondial agrÃ©geant annuellement un grand nombre de situations locales diffÃ©rentes est toujours dÃ©licat et complexe. Un premier essai a conduit Ã  la publication d'avril 2022 qui donnait des rÃ©sultats sensiblement diffÃ©rents suivant les modÃ¨les hydro-climatiques et les pÃ©riodes de rÃ©fÃ©rence utilisÃ©s.

La mÃ©thode a Ã©tÃ© modifiÃ©e ultÃ©rieurement sur plusieurs points techniques. Un indicateur lÃ©gÃ¨rement diffÃ©rent a Ã construit et la publication de juillet 2022 fournit des augmentations nettement plus claires de la variabilitÃ© des taux d'humiditÃ© au cours du XXe siÃ¨cle.

E-3.2.1 Le premier indicateur aujourd'hui abandonnÃ©

Sauf erreur d'interprÃ©tation, le premier indicateur mondial de variabilitÃ© de l'humiditÃ© a Ã©tÃ© bÃ¢ti comme suit :

- ParamÃ¨tre physique : le taux d'humiditÃ© de la partie supÃ©rieure du sol, celle qui est accessible aux plantes (root-zone soil) ;
- Maillage de la surface Ã©mergÃ©e non gelÃ©e en cellules de 250km ou d'un demi-degrÃ© d'arc suivant les modÃ¨les ;
- Deux modÃ¨les hydro-climatiques fournissant des valeurs d'humiditÃ© pour chaque cellule du maillage :
  - modÃ¨le MPI-ESM1.2-LR couplant plusieurs modÃ¨les avec le modÃ¨le dynamique vÃ©gÃ©tation sols JSBACH3.2. Mailles de 250 km. Valeurs journaliÃ¨res ;
  - simulation avec le modÃ¨le dynamique de vÃ©gÃ©tation LPJmL5.l forcÃ© avec des donnÃ©es climatiques CMIP6. Mailles d 0,5 degrÃ© d'arc. Valeurs mensuelles ;
- Deux pÃ©riodes de rÃ©fÃ©rence :
  - de -6000 Ã  -5500 ("HolocÃ¨ne moyen") ;
  - de 1850 Ã  1899 ("pÃ©riode prÃ©industrielle") ;
- Bornes locales mensuelles : 5e et 95e percentiles des taux d'humiditÃ© attribuÃ©s par le modÃ¨le lors du mois concernÃ©

de la pÃ©riode de rÃ©fÃ©rence dans la cellule et les 8 cellules voisines ;

- Indicateur local pour l'annÃ©e en cours : sortie ou non du corridor 5-95 au moins un mois de l'annÃ©e, c'est-Ã -dire 1 si un taux d'humiditÃ© mensuel dÃ©passe la borne locale supÃ©rieure (excÃ¨s inhabituel d'humiditÃ©) ou est infÃ©rieur Ã  la borne locale infÃ©rieure (sÃ©cheresse inhabituellement forte) et 0 dans le cas contraire ;

- Indicateur planÃ©taire : pourcentage de la surface des terres Ã©mergÃ©es non couvertes de glace dont l'indicateur local est en dÃ©passement vers le haut ou vers le bas.

RÃ©sultats publiÃ©s en avril 2022 - L'Ã©tude fournit des rÃ©sultats par rapport Ã  3 corridors 5-95 diffÃ©rents :

- RÃ©fÃ©rence HolocÃ¨ne moyen -6000-5500 : Selon l'Ã©tude, 18 % de la surface continentale non gelÃ©e aurait actuellemen des taux d'humiditÃ© qui sortent au moins un mois par an du corridor fixÃ© sur la base de la pÃ©riode -6000 Ã  -5500 alors que seulement 13 % de cette surface avait de tels Ã©carts Ã  l'HolocÃ¨ne moyen. Cette augmentation est jugÃ©e suffisamment importante par les auteurs pour qu'ils affirment qu'une "limite planÃ©taire" a Ã©tÃ© franchie. NÃ©anmoins, ce franchissement n'est pas datÃ© et pour cause. En effet selon l'Ã©tude, la limite infÃ©rieure "sÃ¨che" aurait Ã©tÃ© franchie bien avant 1850 et la variabilitÃ© du sous-indicateur sec aurait mÃªme baissÃ© depuis. En revanche, le sous-indicateur "humide" ne serait lui significativement sorti du corridor que vers 1940.Â

- RÃ©fÃ©rence de 1850 Ã  1899 ("pÃ©riode prÃ©industrielle") : Cette pÃ©riode de rÃ©fÃ©rence est trÃ¨s courte puisque de 49 De ce fait, elle fournit des corridors 5-95 plus Ã©troits. Pourtant, de faÃ§on Ã©tonnante, la variabilitÃ© de l'humiditÃ© calculÃ©e partir du mÃªme modÃ¨le hydro-climatique MPI-ESM est notablement plus faible qu'avec le corridor plus large calculÃ© Ã partir de la pÃ©riode de l'HolocÃ¨ne moyen. Le modÃ¨le LPJmL fournit des valeurs de variabilitÃ© plus Ã©levÃ©es en valeur absolue et de croissance plus rapide que celles du modÃ¨le MPI-ESM.Â

Fig. 3 de l'article "A planetary boundary for green water",Â L. Wang-Erlandsson et al.

Nature Reviews Earth & EnvironmentÂ 3, 380-392 (2022)Â Â Â

E-3.2.2 Le deuxiÃ¨me indicateur, celui qui est utilisÃ© aujourd'hui

Sauf erreur d'interprÃ©tation, l'indicateur mondial actuel de variabilitÃ© de l'humiditÃ© est bÃ¢ti comme suit :

- ParamÃ¨tre physique : le taux d'humiditÃ© de la partie supÃ©rieure du sol, celle qui est accessible aux plantes (root-zone soil) ;

- Maillage de la surface Ã©mergÃ©e non gelÃ©e en cellules d'un demi-degrÃ© d'arc (environ 50 km x 50 km Ã  l'Ã©quateur terrestre) ;

- Un modÃ¨le hydro-climatique fournissant des valeurs mensuelles d'humiditÃ© pour chaque cellule du maillage : modÃ¨le ISIMIP 2b forcÃ© avec les donnÃ©es climatiques CMIP5 avant 1860 puis des donnÃ©es climatiques historiques aprÃ¨s 1860 ;

- PÃ©riode de rÃ©fÃ©rence : de 1671 Ã  1860 (pÃ©riode "prÃ©industrielle") ;

- PÃ©riode d'analyse : de 1671 Ã  2005 ;

- Bornes locales mensuelles : 5e et 95e percentiles des taux d'humiditÃ© attribuÃ©s par le modÃ¨le lors du mois concernÃ© de la pÃ©riode de rÃ©fÃ©rence dans la cellule. Le corridor obtenu semble plus restreint qu'en utilisant les cellules voisines, ce qui tend Ã  augmenter les cas de dÃ©passement par rapport au premier indicateur ;

- Indicateur local pour un mois de l'annÃ©e en cours : sortie ou non du corridor 5-95, c'est-Ã -dire 1 si le taux d'humiditÃ© mensuel dÃ©passe la borne locale mensuelle supÃ©rieure (excÃ¨s inhabituel d'humiditÃ©) ou est infÃ©rieur Ã  la borne locale mensuelle infÃ©rieure (sÃ©cheresse inhabituellement forte) et 0 dans le cas contraire ;

- Indicateur planÃ©taire : moyenne des 12 pourcentages mensuels de la surface des terres Ã©mergÃ©es non couvertes de glace dont l'indicateur local est en dÃ©passement vers le haut ou vers le bas.

RÃ©sultats publiÃ©s en juillet 2022

Extrait de la Fig. 3 de l'article "Global water cycle shifts far beyond pre-industrial conditions - planetary boundary for freshwater change transgressed", Porkka et al.Â -Â EarthArxivÂ 2022

[Nota 1. Les donnÃ©es font l'objet de nombreuses corrections. Les rÃ©sultats aussi puisque la pÃ©riode 1860-1890 est considÃ©rÃ©e comme aberrante.]

[Nota 2. Le modÃ¨le est utilisÃ© une premiÃ¨re fois sur la pÃ©riode 1661-1860 en le forÃ§ant avec les donnÃ©es climatiques CMIP5 avant 1860 puis une deuxiÃ¨me fois sur la pÃ©riode 1860-2014 avec des donnÃ©es climatiques historiques. Le moins qu'on puisse dire est qu'il y a en 1860 une discontinuitÃ© Ã©norme dont les raisons sont Ã  Ã©lucider. Comme c'est le mÃªme modÃ¨le qui est utilisÃ© avant et aprÃ¨s 1860, cette discontinuitÃ© est totalement inattendue.]

La "limite de sÃ©curitÃ©" fixÃ©e par prÃ©caution Ã  la borne supÃ©rieure de la variabilitÃ© prÃ©industrielle, soit 11,1 %, a Ã© en 1929 pour atteindre 15,8 % actuellement (moyenne 1996-2005).

La comparaison des rÃ©sultats de la publication de 2022 par Lan Wang-Erlandsson et al., relative au premier indicateur, et ceux de la publication par Porkka et al., relative Ã  ce deuxiÃ¨me indicateur, est trÃ¨s surprenante et laisse perplexe. En effet, bien que les donnÃ©es prÃ©industrielles et les mÃ©thodes soient trÃ¨s similaires, les rÃ©sultats sont trÃ¨s diffÃ©rents :

- Les pÃ©riodes de rÃ©fÃ©rence sont diffÃ©rentes, ce qui conduit Ã  des corridors diffÃ©rents. Cependant, comme le corridor d Wang est plus large que celui de Porkka, Wang devrait trouver moins d'Ã©carts. Or, c'est l'opposÃ© : les dÃ©viations actuelles de Porkka et al. sont bien plus Ã©levÃ©es que celles qu'avaient trouvÃ© Wand et al.Â

- Les dynamiques sont significativement diffÃ©rentes. Sur le XXe siÃ¨cle, c'est-Ã -dire entre 1900 et 2000 :

  - les Ã©carts du cÃ´tÃ© "humide" augmentent de 23 % pour Wang et al. et de 53 % pour Porkka et al.

  - les Ã©carts du cÃ´tÃ© "sec" dÃ©croissent de 5 % pour Wang et al. et augmentent de 60 % pour Porkka et al.

Ces diffÃ©rences ont besoin d'Ãªtre expliquÃ©es car les deux publications conduisent Ã  des conclusions trÃ¨s diffÃ©rentes bi que les mÃ©thodes soient assez proches.

E-3.3. La nouvelle limite planÃ©taire pour "l'eau bleue"

En 2022, l'indicateur "Eau bleue" relatif aux prÃ©lÃ¨vements nets est remplacÃ© par un indicateur relatif Ã  la variabilitÃ© des dÃ©bits dans les rÃ©seaux hydrographiques calculÃ© Ã  partir d'un modÃ¨le hydro-climatique.

Sauf erreur d'interprÃ©tation, cet indicateur mondial de variabilitÃ© des dÃ©bits est bÃ¢ti comme suit :

- ParamÃ¨tre physique : les dÃ©bits des cours d'eau ;

- Maillage de la surface Ã©mergÃ©e non gelÃ©e en cellules d'un demi-degrÃ© d'arc (environ 50 km x 50 km Ã  l'Ã©quateur terrestre) ;

- Un modÃ¨le hydro-climatique fournissant des valeurs journaliÃ¨res de dÃ©bits pour chaque cellule du maillage : modÃ¨le ISIMIP 2b de l'Institut climatique de Potsdam forcÃ© avec les donnÃ©es climatiques CMIP5 avant 1860 puis des donnÃ©es climatiques historiques aprÃ¨s 1860. Ce modÃ¨le intÃ¨gre des donnÃ©es climatiques et des donnÃ©es humaines comme la construction de barrages, les prÃ©lÃ¨vements d'eau pour irrigation, les prÃ©lÃ¨vements domestiques et les prÃ©lÃ¨vements industriels.

- PÃ©riode de rÃ©fÃ©rence : de 1671 Ã  1860 (dite pÃ©riode "prÃ©industrielle") ;

- PÃ©riode d'analyse : de 1671 Ã  2005 ;

- Bornes locales mensuelles : 5e et 95e percentiles des dÃ©bits moyens attribuÃ©s par le modÃ¨le au mois concernÃ© de la pÃ©riode de rÃ©fÃ©rence dans la cellule ;

- Indicateur local pour un mois de l'annÃ©e en cours : sortie ou non du corridor, c'est-Ã -dire 1 si le dÃ©bit moyen mensuel dÃ©passe la borne locale mensuelle supÃ©rieure (dÃ©bit inhabituellement fort) ou est infÃ©rieur Ã  la borne locale mensuelle infÃ©rieure (dÃ©bit inhabituellement faible) et 0 dans le cas contraire ;

- Indicateur planÃ©taire : moyenne des 12 pourcentages mensuels de la surface des terres Ã©mergÃ©es non couvertes de glace dont l'indicateur local est en dÃ©passement vers le haut ou vers le bas.

RÃ©sultats publiÃ©s en juillet 2022 - La "limite de sÃ©curitÃ©" fixÃ©e par prÃ©caution Ã  la borne supÃ©rieure de la variabilit prÃ©industrielle, soit Ã  10,2 %, a Ã©tÃ© franchie en 1905 pour atteindre 18,2 % actuellement (moyenne 1996-2005).

[Nota 1. Les donnÃ©es font l'objet de nombreuses corrections. Les rÃ©sultats aussi puisque la pÃ©riode 1860-1890 est considÃ©rÃ©e comme aberrante.]

[Nota 2. Le modÃ¨le est utilisÃ© une premiÃ¨re fois sur la pÃ©riode 1661-1860 en le forÃ§ant avec les donnÃ©es climatiques CMIP5 avant 1860 puis une deuxiÃ¨me fois sur la pÃ©riode 1860-2014 avec des donnÃ©es climatiques historiques. Le moins qu'on puisse dire est qu'il y a en 1860 une discontinuitÃ© Ã©norme dont les raisons sont Ã  Ã©lucider. Comme c'est le mÃªme modÃ¨le qui est utilisÃ© avant et aprÃ¨s 1860, cette discontinuitÃ© est totalement inattendue.]

Extrait de la Fig. 3 de l'article "Global water cycle shifts far beyond pre-industrial conditions - planetary boundary for freshwater change transgressed", Porkka et al.Â -Â EarthArxivÂ 2022

Â  Â  Â

Â

Â L'auteur

AprÃ¨s avoir dirigÃ© le groupe appelÃ© aujourd'hui Suez, GÃ©rard Payen a Ã©tÃ© conseiller pour l'Eau du secrÃ©taire gÃ©n Nations unies, prÃ©sident d'AquaFed et vice-prÃ©sident de l'Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (ASTEE). Aujourd'hui, il est vice-prÃ©sident du Partenariat FranÃ§ais pour l'Eau et membre de l'AcadÃ©mie des technologies. Il est par ailleurs l'auteur de l'application publique Water4allSDGs permettant d'Ã©valuer les impacts d'une action Eau sur l'ensemble des cibles ODD.