



Climat et planète : état des lieux 2023

2023 - Dominique Bourg, Université de Lausanne

Un défi majeur et trois fronts

- Défi : préserver l'habitabilité de la Terre

Trois Fronts :

- Climat
- Biodiversité
- Ressources

Chercher à répondre au défi climatique en ignorant la biodiversité peut-être catastrophique. Les solutions possibles dépendent de la donne matériaux.

1. Climat où en sommes nous ?

Augmentation de la température *moyenne* sur Terre par rapport à 1850 : + 1,1° (1,07 par rapport à 1900 ; AR6) ; 420 ppm (Pliocène) ;

10 GT carbone, 40 GT CO₂, + 50 GT équivalent CO₂ ; + 2100 GT de CO₂ accumulés dans atmosphère.

10 dernières années les plus chaudes ; étonnement avec 2018 : vagues de chaleur et de sécheresse/Hémisphère Nord.

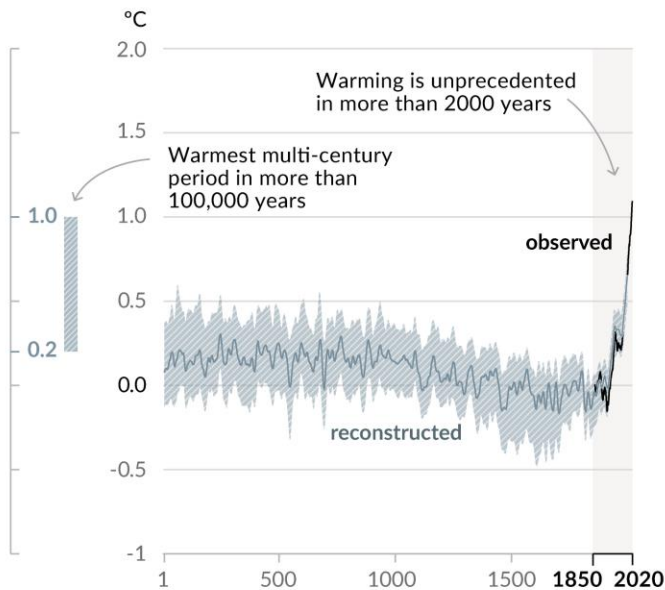
Augmentation émissions monde en 2017 : + 2,2 % ; 2018 : 2,3 % ; baisse de 0,1 % des émissions du G20 en 2019 ; - 7 % 2020-Covid ; rebond 2021 ; + 14 % d'ici 2030 par rapport à 2010. 0,9 % en 2022.

Des années à + 1,5°/2025-2030, années + 2°/2040-2050 ; accord de Paris : au moins + -- 3° fin de siècle ; et nous sommes sur cette trajectoire.

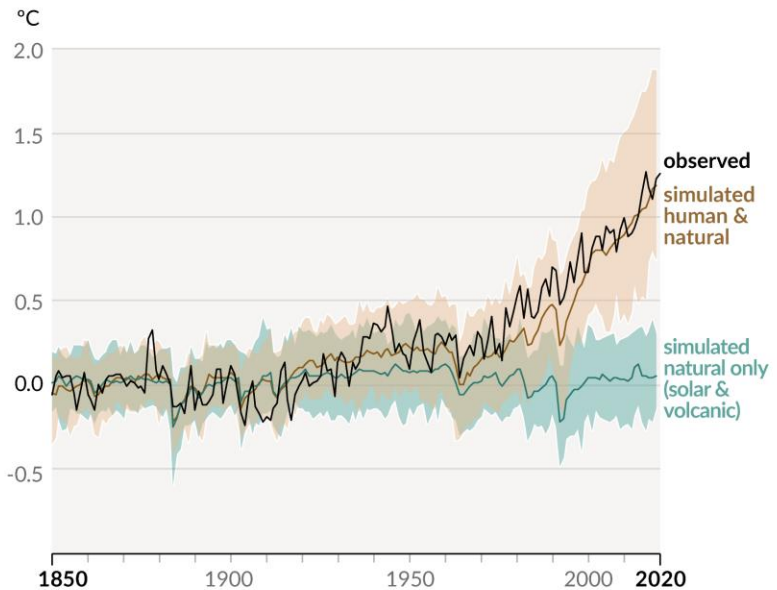
Human activities have modified the global climate with a pace unprecedented in at least 2000 years (Sixth Assessment Report, WG 1)

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)

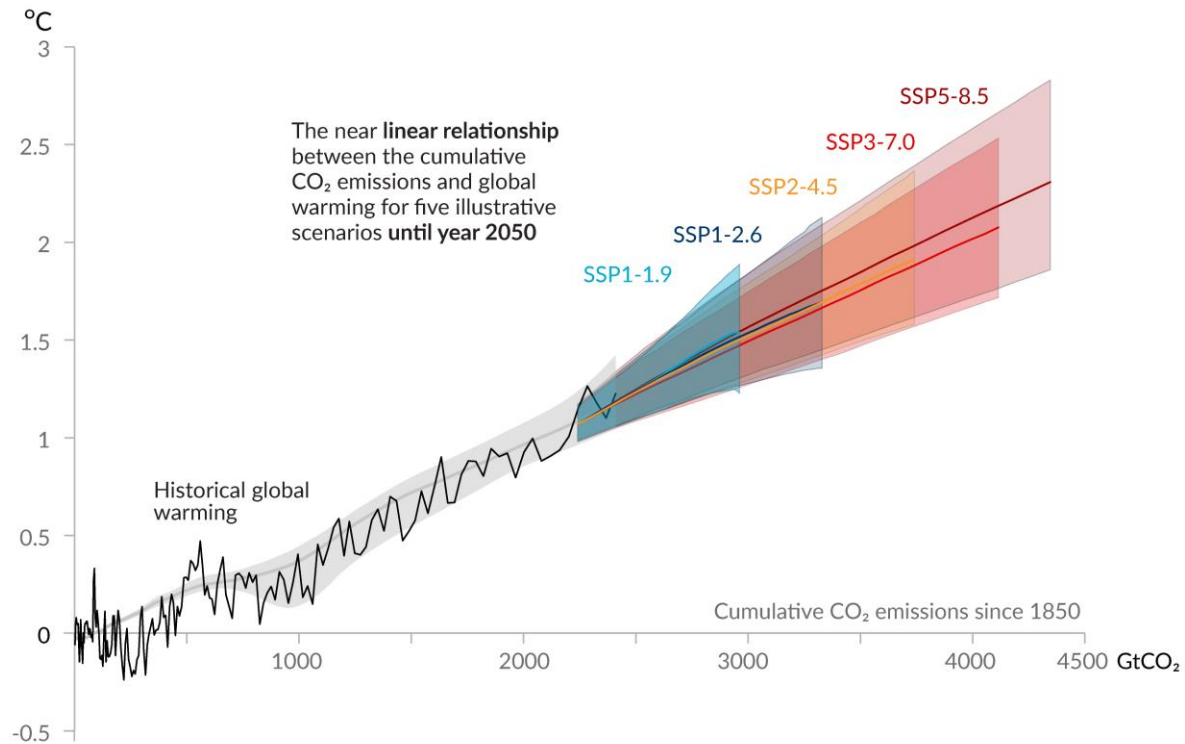


b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)



Carbon budget (Sixth Assessment Report, WG 1)

Global surface temperature increase since 1850-1900 ($^{\circ}\text{C}$) as a function of cumulative CO_2 emissions (GtCO_2)



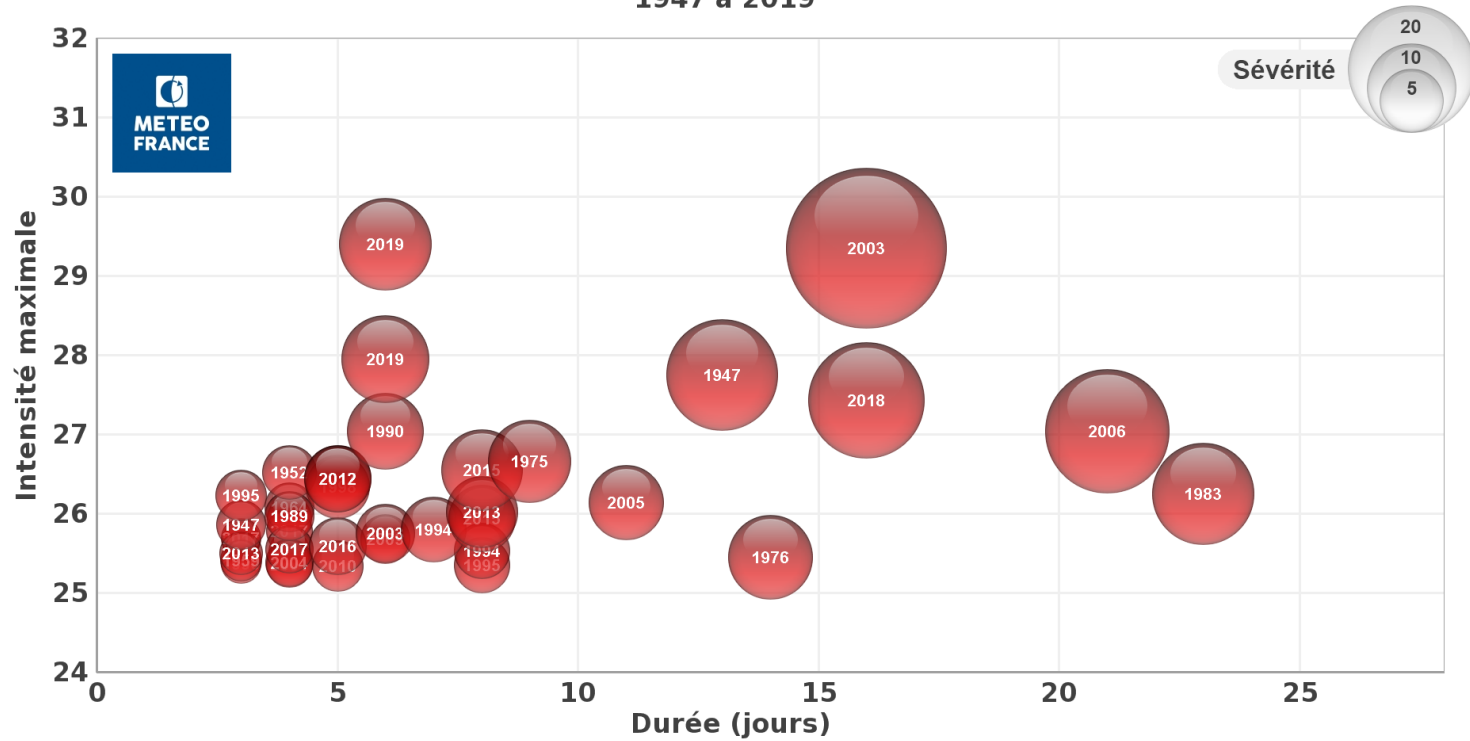
Climat

- **Rapport SR 15 2018**, diminuer de moitié (de 45 à 58 %) les émissions mondiales d'ici à 2030 ; 2050 neutralité carbone. Scénario SPP1 (part de 2015, encore dans AR6).
- Un phénomène qui **devient visible et s'accélère**, coût moyen annuel aux États-Unis des événements extrêmes : 3 milliards de dollars années 1980, 20 milliards dans les années 2000, 40 durant la première moitié des années 2010 (près de 50 milliards pour le seul ouragan Sandy en 2012), pic de près de 200 milliards en 2017, imputables notamment à l'ouragan Harvey ; 2018 : Japon juillet, cyclone Florence ; quasi cyclone et Méditerranée, Ophélia, incendies en (Californie, Suède, Sibérie, Grèce, Australie, Amazonie, Congo). Situation cercle arctique & Antarctique. Réchauffement universel. Vagues chaleur quasi continues étés 2018, 2019, 2020 et 2021.
- Capacités **production alimentaires** (limites photosynthèse, fragilité céréales ; Australie 2019-2020 : - 66 % récoltes riz & sorgho ; blé dur 2021 ; Espagne 2023 : 60 % des surfaces céréalières sans rendement).
- Problème **emballement** (passage à planète-étuve). Si 3,7° fin de siècle : pointes à + 50°/Est France ; saturation capacités régulation thermique du corps humain; rafales à plus de 300 km/h ; débâcle glaciaire Antarctique ; forêt amazonienne ; perturbations régime pluies.
- **Habitabilité résiduelle.**

Climat

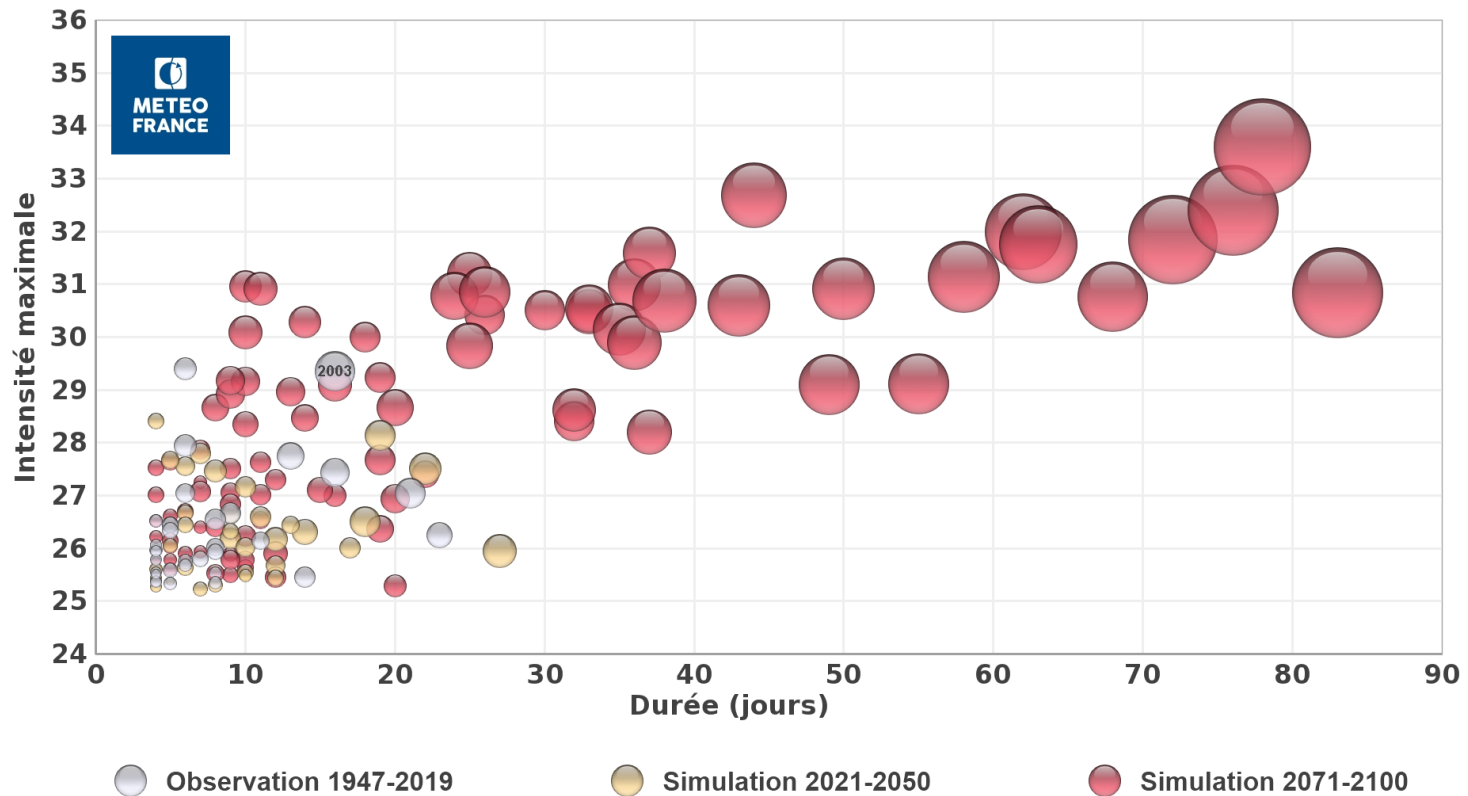
- **Etat des lieux** : 1,1° (1,07) ; 420 ppm ; moyennes annuelles : années + 1,5° possibles dans 6 ans, à + 2° dans une vingtaine d'années, à + 3° dans quarantaine d'années (+ 90 % du budget carbone consommé pour moindre chance de rester sous 1,5°)
- **Vagues de chaleur** qui se multiplient : juillet 2019 42.6°C à Paris et 43 dans la banlieue parisienne, de 42.5°C en Allemagne, de 41.8°C en Belgique et de 40.7°C aux Pays-Bas. 2021 : 49,6 ° à Lytton (Canada) en juillet 2021, 48°C à Verkhojansk (Sibérie, juin 2021), 48,7 ° à Syracuse en août. Record absolu : dans l'air 54,4° dans Vallée de la mort en Californie en août 2020. Mi-mai 2022 : 51° à Jacobabad au Pakistan ou 49,2° à New Dehli, 52,2° à Abadan en Iran le 21 juin 2022, et même 53,6° à Shush (Iran, août 2022).
- JUIN 2023 : + 1,1° C Atlantique Nord, Atlantique tropical + 3, Méditerranée + 4° C ; vagues chaleur partout, notamment en Sibérie, sécheresse Nord Europe, incendies de forêts incontrôlables au Canada.
- Episodes de **pluies intenses** qui augmentent avec température (2° = +14% ; 4° = + 30%) et **sécheresses**.
- Cycle chaleur-sécheresse-**feu** ; **cyclones et irrégularités météo**.
- Capacités **production alimentaires** (limites photosynthèse, fragilité céréales) : 2021, pénurie blé dur ; le risque sécheresse-défaillance de production double à + 1,5°, autres risques.

Vagues de chaleur observées en France 1947 à 2019

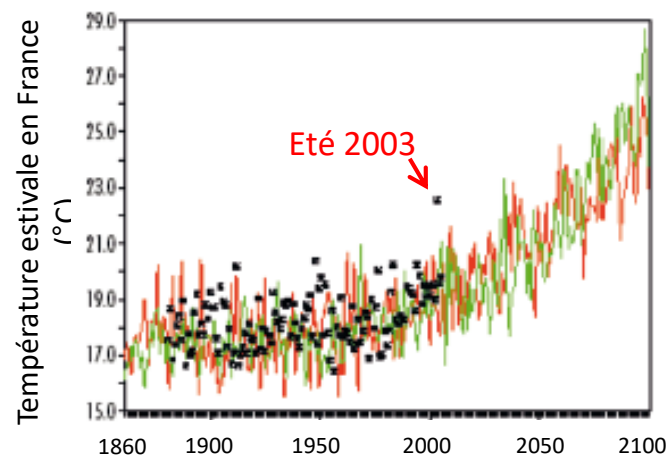


Evolution des vagues de chaleur en climat futur

Simulation Aladin-Climat pour le scénario RCP8.5 aux horizons 2021-2050 et 2071-2100



... en France métropolitaine



Température estivale en France mesurée (noir) et selon le scénario A2 (+4,5°C 2100/1850) (couleurs) entre 1860 et 2100.

Climat (limites systémiques)

- Si nous atteignons une augmentation de 3° à la fin de ce siècle, encore deux degrés (0,5 – 2°) dans les tuyaux, et donc + 5° (par rapport à 1850) à compter du 22^e siècle et pour 5'000 ans (Archer D., *The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate*, Princeton, Princeton University Press, 2010.).
- *Signification du seuil des 2°*: intensification de l'auto-alimentation du changement climatique (fonte et albédo, évaporation, Amazonie savane, pergélisol, etc.) ; plafond du tunnel de variation des températures durant les millions d'années (2,6) précédents avec alternance âges glaciaires/interglaciaires et migration des mêmes espèces.
- Deux incertitudes majeures : permafrost et CO₂ + CH₄ ; modélisation des grandes masses glaciaires.

Scénario à éviter : une planète étuve

- Dans un monde de plus 4, écrit par exemple R. Warren, les limites à l'adaptation humaine sont probablement dépassées dans de nombreuses parties du monde, alors que celles propres aux systèmes naturels sont largement dépassées dans le monde entier. En conséquence, les services écosystémiques dont dépendent les modes de vie humains ne pourraient être préservés. Même si des études ont suggéré que l'adaptation devrait être possible dans quelques aires pour les systèmes humains, de telles études n'ont généralement pas pris en compte la perte des services écosystémiques. »
- (R. Warren « The Role of Interactions in a World Implementing Adaptation and Mitigation Solutions to Climate Change », in dossier « Four Degrees and Beyond : The Potential for a Global Temperature Increase of Four Degrees and its Implications », *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, January 13, 2011).

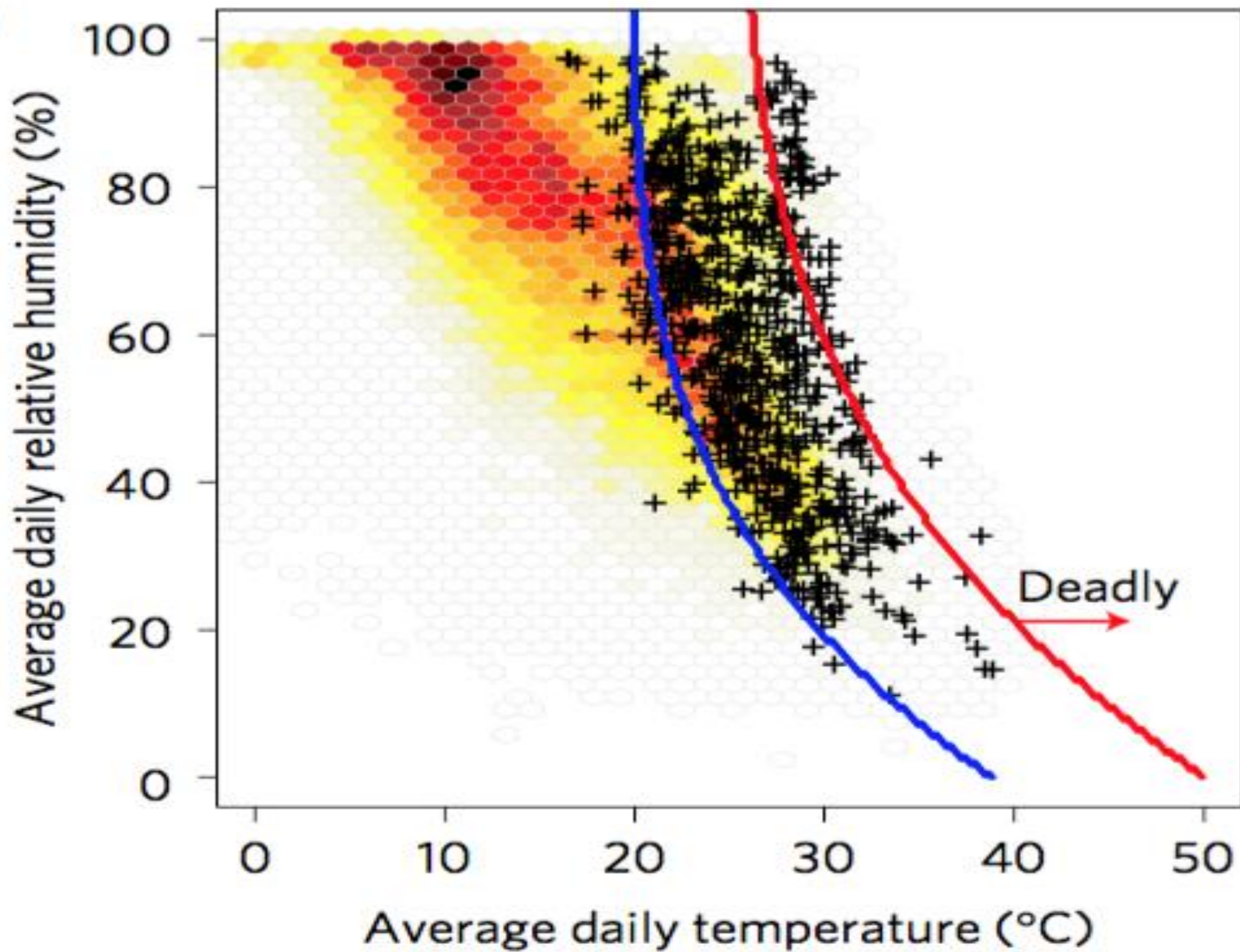
-

Climat : Habitabilité de la Terre

- Niche humaine : $\sim 11^{\circ}\text{C}$ to 15°C
- Si business as usual : MAT $> 29^{\circ}\text{C}$ currently found in only 0.8% of the Earth's land surface, mostly concentrated in the Sahara : alors un +/* population mondiale

(Chi Xu (徐驰) & al., Future of the human climate niche, PNAS, juin 2019)

- Marges photosynthèse : $40 - 45^{\circ}$
- Accumulation chaleur + humidité ; trait de côte, régime pluies, agriculture.
- HABITABILITE de la TERRE : réduction physique (montée mers, devenir aride de régions, chaleur humide) et dégradation qualitative (événements extrêmes et réduction production alimentaire)



Heat Index 41 de la NOAA (HI41)

correspond par exemple à 32°C et 70% hum

34 ° et 55% hum

NOAA national weather service: heat index

Tempera- ture Relative humidity	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	88 °F (31 °C)	90 °F (32 °C)	92 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	98 °F (37 °C)	100 °F (38 °C)	102 °F (39 °C)	104 °F (40 °C)	106 °F (41 °C)	108 °F (42 °C)	110 °F (43 °C)
40%	80 °F (27 °C)	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	136 °F (58 °C)
45%	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	87 °F (31 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	100 °F (38 °C)	104 °F (40 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)	
50%	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	99 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	113 °F (45 °C)	118 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	131 °F (55 °C)	137 °F (58 °C)		
55%	81 °F (27 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	117 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)			
60%	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	110 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	123 °F (51 °C)	129 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)				
65%	82 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	98 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	114 °F (46 °C)	121 °F (49 °C)	128 °F (53 °C)	136 °F (58 °C)					
70%	83 °F (28 °C)	86 °F (30 °C)	90 °F (32 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	119 °F (48 °C)	126 °F (52 °C)	134 °F (57 °C)						
75%	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	92 °F (33 °C)	97 °F (36 °C)	103 °F (39 °C)	109 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	132 °F (56 °C)							
80%	84 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	94 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	121 °F (49 °C)	129 °F (54 °C)								
85%	85 °F (29 °C)	90 °F (32 °C)	96 °F (36 °C)	102 °F (39 °C)	110 °F (43 °C)	117 °F (47 °C)	126 °F (52 °C)	135 °F (57 °C)								
90%	86 °F (30 °C)	91 °F (33 °C)	98 °F (37 °C)	105 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	122 °F (50 °C)	131 °F (55 °C)									
95%	86 °F (30 °C)	93 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	108 °F (42 °C)	117 °F (47 °C)	127 °F (53 °C)										
100%	87 °F (31 °C)	95 °F (35 °C)	103 °F (39 °C)	112 °F (44 °C)	121 °F (49 °C)	132 °F (56 °C)										

Key to colors:



Caution



Extreme caution



Danger



Extreme danger

source Wikipédia

For example, if the air temperature is 96 °F (36 °C) and the relative humidity is 65%, the heat index is 49 °C (120 °F)

L'évolution de l'indicateur de « chaleur humide »

La « chaleur humide », combinaison de la chaleur et de l'humidité, est abordée à travers le Heat Index (HI) dans le chapitre 12 du rapport du Groupe 1. Lorsque le Heat Index dépasse le seuil des 41 degrés, l'évapotranspiration devient particulièrement difficile, et le degré de dangerosité ne permet plus de travailler en extérieur ni de sortie prolongée.

Il est à souligner qu'à compter d'un nombre de jours dépassant quelques semaines on passe d'une habitabilité dégradée d'une région à une habitabilité compromise si les travaux en extérieur y deviennent impossibles pour une durée longue.

Les simulations et projections sur lesquelles s'appuient le groupe de travail 1, par zone géographique (voir tableaux ci-joint), montrent que plusieurs zones pourraient atteindre un nombre très important de jours supérieur à 41 degrés selon le scénario retenu.

Les zones géographiques concernées se situent essentiellement entre les tropiques même si l'ensemble des zones sont impactées.

Concernant la zone du Nord de l'Amérique du Sud, à horizon 2041-2060, le nombre de jours annuels au-delà des 41 degrés de HI serait estimé entre 100 et 200 pour le scénario 2.6 et entre 150 et 250 pour le scénario 8.5. A horizon 2100, le nombre de jours annuels au-delà de 41 degrés de HI serait estimé entre 100 et 210 pour le scénario 2.6 et entre 260 et 320 pour le scénario 8.5.

Concernant la zone d'Asie du Sud-Est, à horizon 2041-2060, le nombre de jours annuels au-delà des 41 degrés de HI serait estimé entre 50 et 100 pour le scénario 2.6 et entre 80 et 150 pour le scénario 8.5. A horizon 2100, le nombre de jours annuels au-delà de 41 degrés de HI serait estimé entre 50 et 110 pour le scénario 2.6 et entre 140 et 240 pour le scénario 8.5.

Concernant la zone d'Afrique Centrale, à horizon 2041-2060, le nombre de jours annuels au-delà des 41 degrés de HI serait estimé entre 40 et 100 pour le scénario 2.6 et entre 50 et 160 pour le scénario 8.5. A horizon 2100, le nombre de jours annuels au-delà de 41 degrés de HI serait estimé entre 40 et 110 pour le scénario 2.6 et entre 140 et 290 pour le scénario 8.5.

Concernant la zone Méditerranée à horizon 2041-2060, le nombre de jours annuels au-delà des 41 degrés de HI serait estimé entre 0 et 10 pour le scénario 2.6 et entre 0 et 20 pour le scénario 8.5. A horizon 2100, le nombre de jours annuels au-delà de 41 degrés de HI serait estimé entre 0 et 10 pour le scénario 2.6 et entre 20 et 60 pour le scénario 8.5.

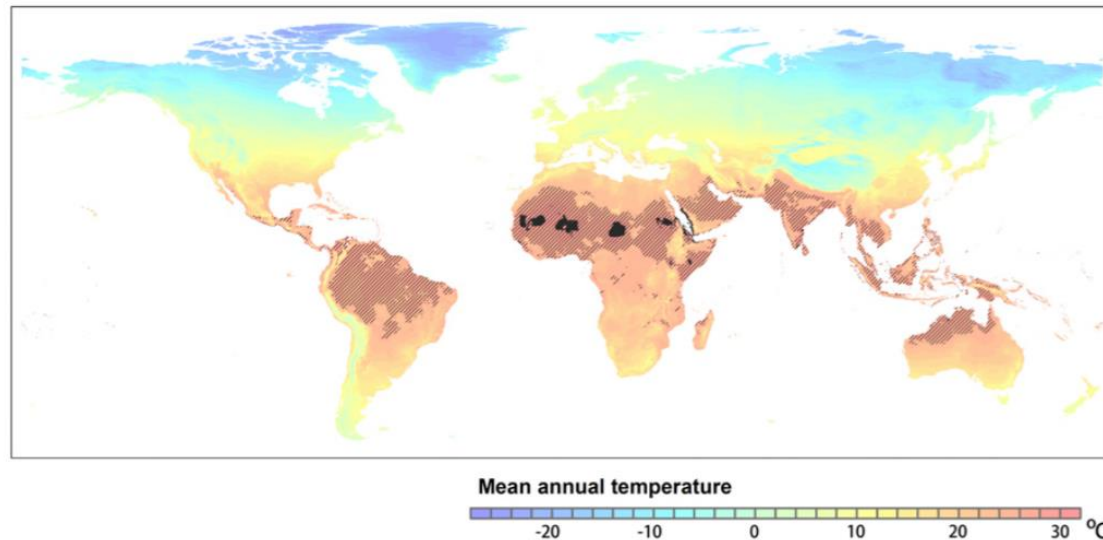


Fig. 3. Expansion of extremely hot regions in a business-as-usual climate scenario. In the current climate, MATs >29 °C are restricted to the small dark areas in the Sahara region. In 2070, such conditions are projected to occur throughout the shaded area following the RCP8.5 scenario. Absent migration, that area would be home to 3.5 billion people in 2070 following the SSP3 scenario of demographic development. Background colors represent the current MATs.

Température moyenne annuelle $\geq 29^{\circ}\text{C}$:

actuel : zone noire
en 2070 (Scénario RCP8.5): zone hachurée marron –

Sans migration cette zone abriterait 3,5 milliards de personne (scénario SSP3 du développement démographique

Résultat relié à la slide 64 , où on voit que le SSP3 a l'augmentation démographique la plus forte) Source : INM et al. 2019

Population distribution within the human climate niche

We analyzed global population data by “binning it”: selecting all the land grid cells of the HYDE data described above which meet a criteria such as falling within a certain temperature range. For instance, we divide the temperature range into $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ bins, with the i^{th} bin

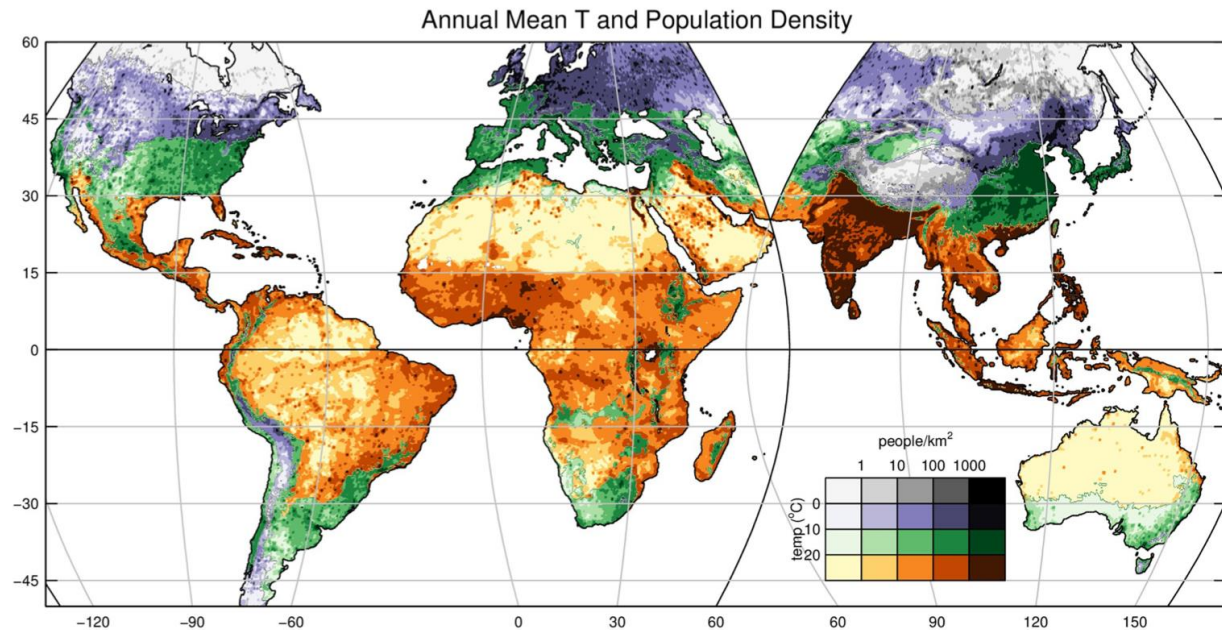
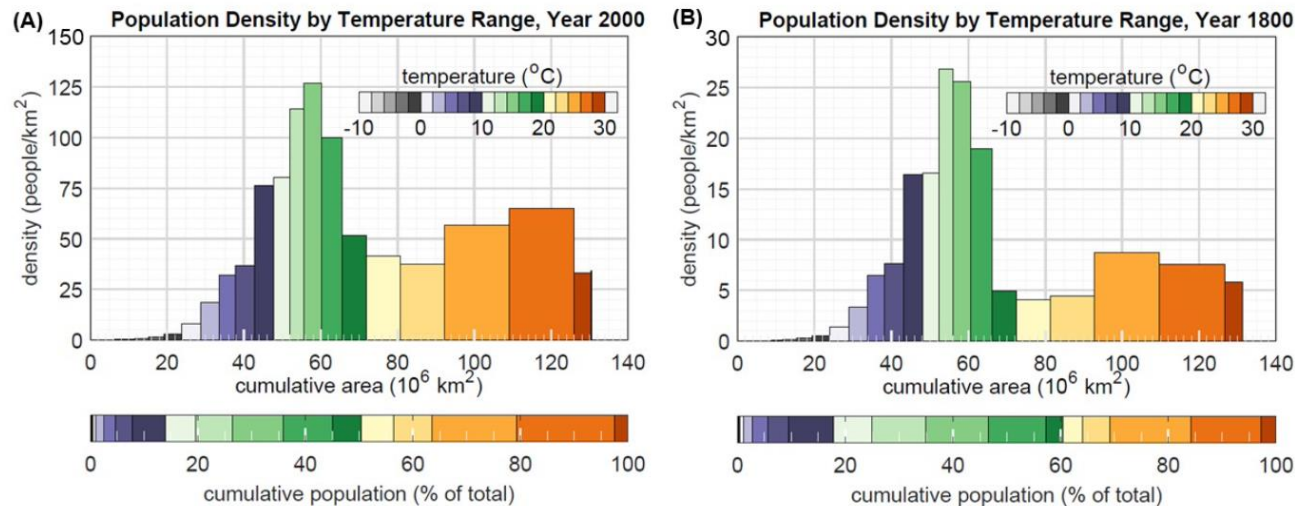


Fig 1. Annual mean land temperature in 10°C contour intervals (hue), and population density separated by $D_j = 1, 10, 100, 1000$ people/km² (shade), mapped in separate equal-area (sinusoidal) projections for the Americas, western Eurasia/Africa, and eastern Asia/eastern Pacific.

<https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000086.g001>

Population distribution within the human climate niche



Répartition de population en fonction
de la température (annuelle sur continent)
- Estimation par tranche de 0,2°C -

De -10°C à 0°C : noir

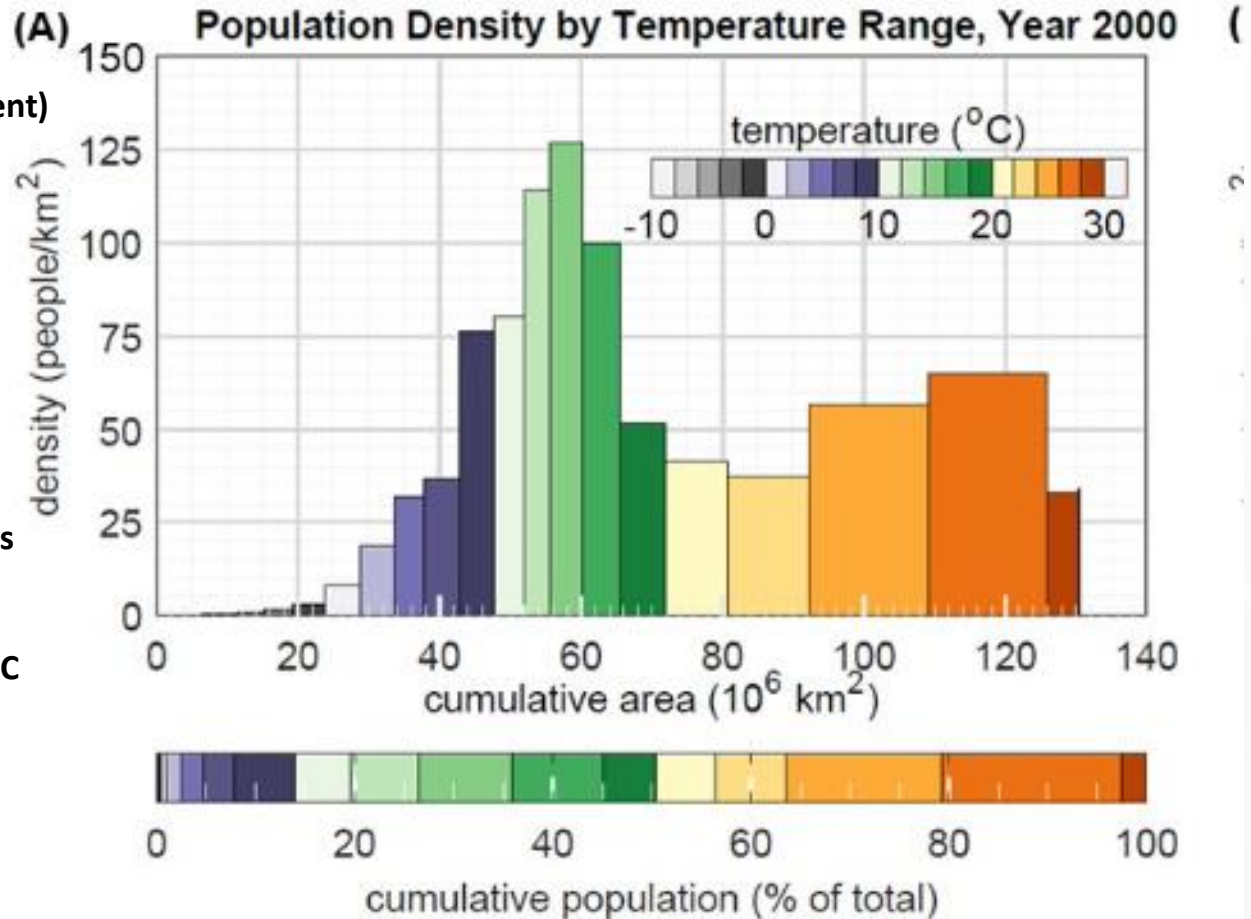
0°C à +10°C : bleu

+10°C à +20°C : vert

+20°C à 30°C : marron

1 - On s'aperçoit que la population
qui vit dans les tropiques (20°C à 30°C)
est nettement plus importante que dans
les moyennes latitudes (+10 à 20°C).

2 - Pas de population au dessus de +30°C



Niche de l'homme :
plus adapté (vert foncé)
moins adaptée (vert clair)

A : dans la situation actuelle

B : en 2070 dans le scénario RCP8.5

C : répartition de la population
(différence entre les deux cartes)
dans l'hypothèse où les migrations se feraient
selon la distribution historique stable de la température
(des zones oranges vers les zones vertes)

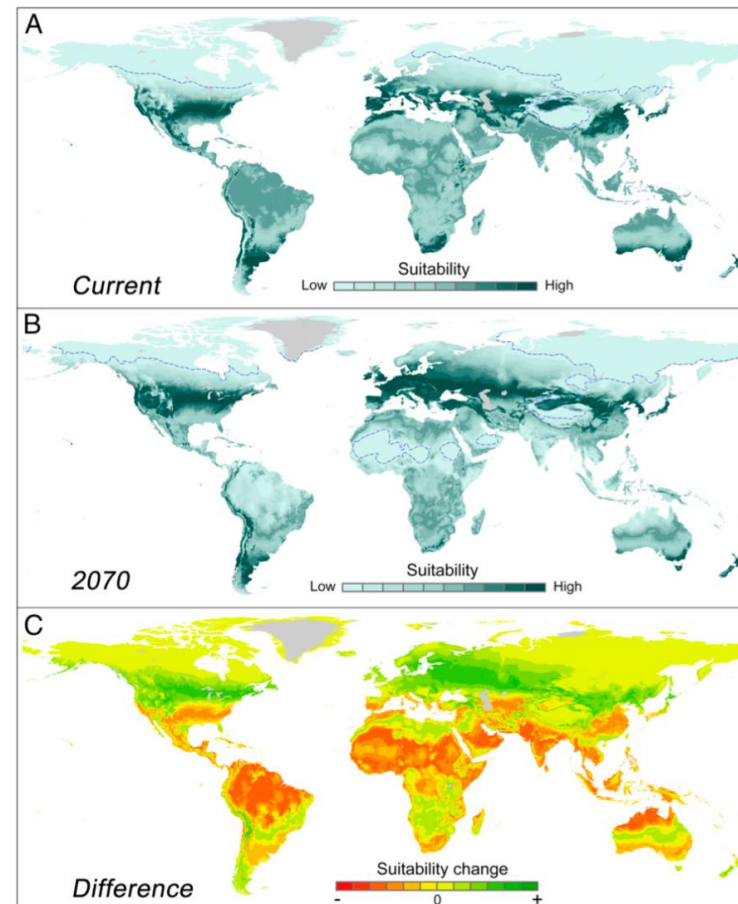


Fig. 4. Projected geographical shift of the human temperature niche. (Top) Geographical position of the human temperature niche projected on the current situation (A) and the RCP8.5 projected 2070 climate (B). Those maps represent relative human distributions (summed to unity) for the imaginary situation that humans would be distributed over temperatures following the stylized double Gaussian model fitted to the modern data (the blue dashed curve in Fig. 2A). (C) Difference between the maps, visualizing potential source (orange) and sink (green) areas for the coming decades if humans were to be relocated in a way that would maintain this historically stable distribution with respect to temperature. The dashed line in A and B indicates the 5% percentile of the probability distribution. For an analysis including precipitation effects, see [SI Appendix, Fig. S10](#).

Climat et action : difficultés

- Obstacles juridiques :
 - La CCNUCC : article 3 : « Il convient d'éviter que les mesures prises pour lutter contre les changements climatiques, y compris les mesures unilatérales, constituent un moyen d'imposer des discriminations arbitraires ou injustifiables sur le plan du commerce international, ou des entraves déguisées à ce commerce. »
 - Politiques publiques en silos (Commission vise : - 55 % en 2030 (au lieu 40%, par rapport à 1990, Parlement européen – 60 %)

Biodiversité

Attention, distinguer érosion des populations (1970-2010, réduction de moitié pour vertébrés sauvages) et érosion biodiversité (taux d'érosion désormais 100/1000 fois supérieur à ce qu'il a été dans l'histoire de la Terre).

Dans une région protégée d'Allemagne (63 zones protégées), a établi que 76 à 82 % des insectes volants avaient disparu en 27 ans ; effondrement des populations d'abeilles (Caspar, A. Hallmann, et al., *More Than 75 Percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas*", *PLOS ONE*).

Biomasse Insectes = 17 X humains ; taux extinction : double des vertébrés ; aggravation annuelle 1 % ; agriculture intensive. Plus généralement 41% des espèces d'insectes au monde menacées d'extinction. Avec une réduction annuelle de leur biomasse de 2,5% par an ; base 73 rapports historiques (F. Sanchez-Bayo, et al., *worldwide decline of the entomofaune : a review of the drivers, biological conservation*). Effondrement de tous écosystèmes.

Biodiversité

Pollinisateurs : 2/3 cultures vivrières

Grande étude déployée sur environ 28'000 espèces vertébrées : 35% de ces espèces, dont ordinaires, ont vu leur population nettement diminuer en taille et en étendue (habitats).

En Europe, les oiseaux vivent une situation similaire. 40 à 70% des espèces d'oiseaux et 50 à 85% des habitats naturels européens sont en danger (G. Ceballos et al., "Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines," www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1704949114).

Etude WWF : - 68 % vertébrés (1970 – 2016)

Confirmation par rapport de l'IPBES 2019 : 1/8 M espèces menacées d'extinction (dont 1/2 quasi disparues)

Le vivant est comparable à une vieille voiture qui ne cesse de perdre boulons et tôles tout en continuant à rouler ... Pour combien de temps encore?

Biodiversité

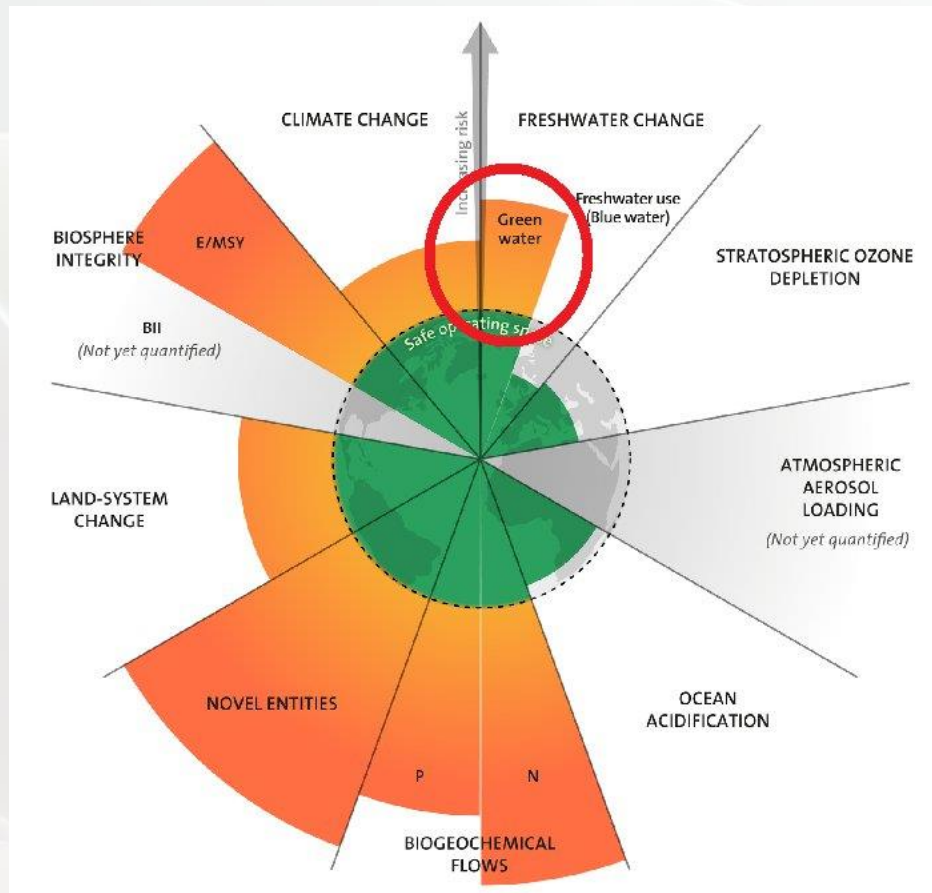
Seibold S. & alii, "Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers », *Nature*, volume 574, pages 671–674 (2019)

Captures d'arthropodes sur 300 sites (en prairie ou en forêt) de trois régions allemandes, entre 2008 et 2017 : 1 million d'individus, 2700 espèces sur 10 ans

Le nombre d'individus capturés (prairies) s'est effondré de 78 % et leur diversité a chuté d'un tiers. En moyenne, dans les milieux forestiers, la biomasse de ces bestioles volantes et rampantes a perdu 41 % et la diversité des individus capturés a décliné de 36 %.

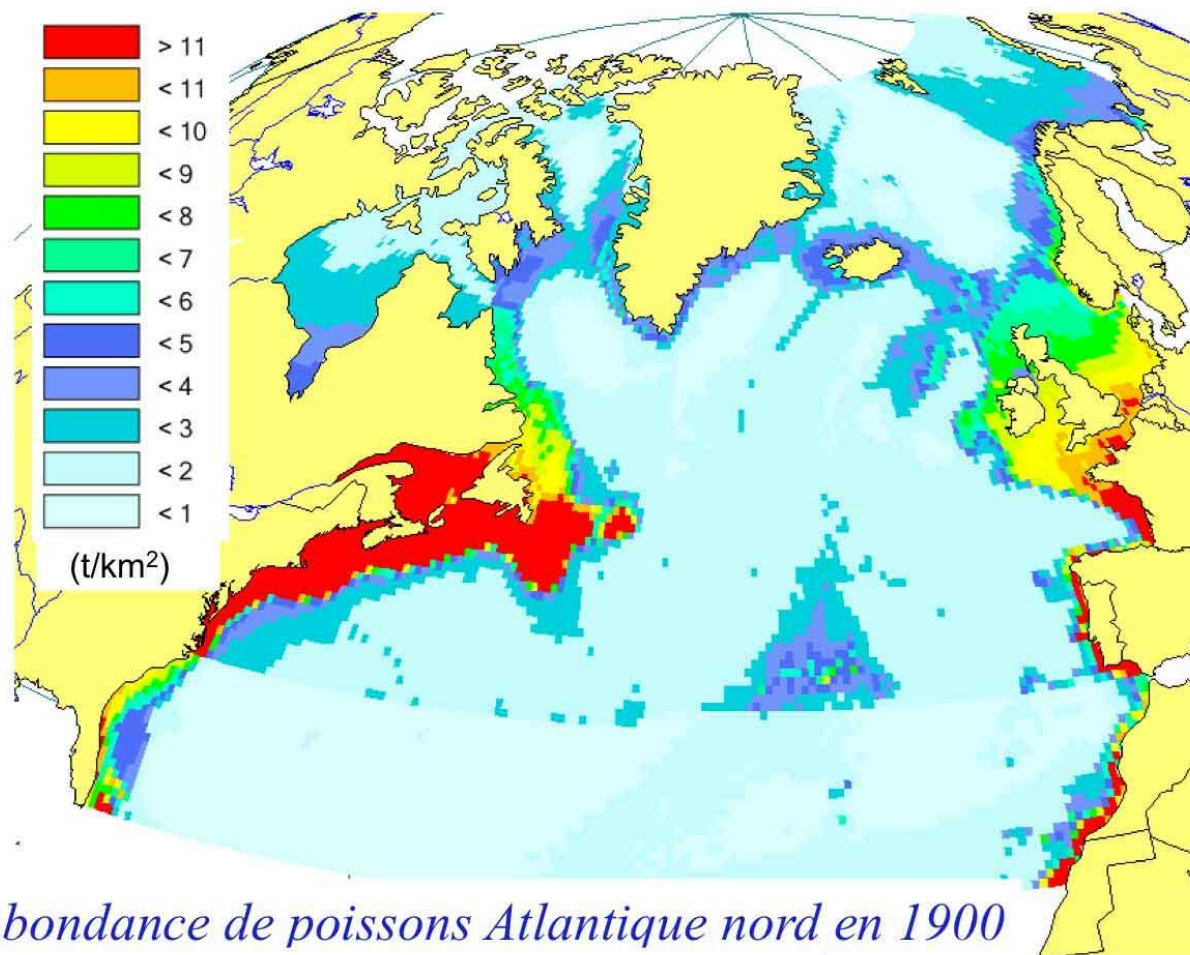
Franchissement de la sixième limite planétaire

(Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R.J. *et al.* A planetary boundary for green water. *Nat Rev Earth Environ* (2022). <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>)



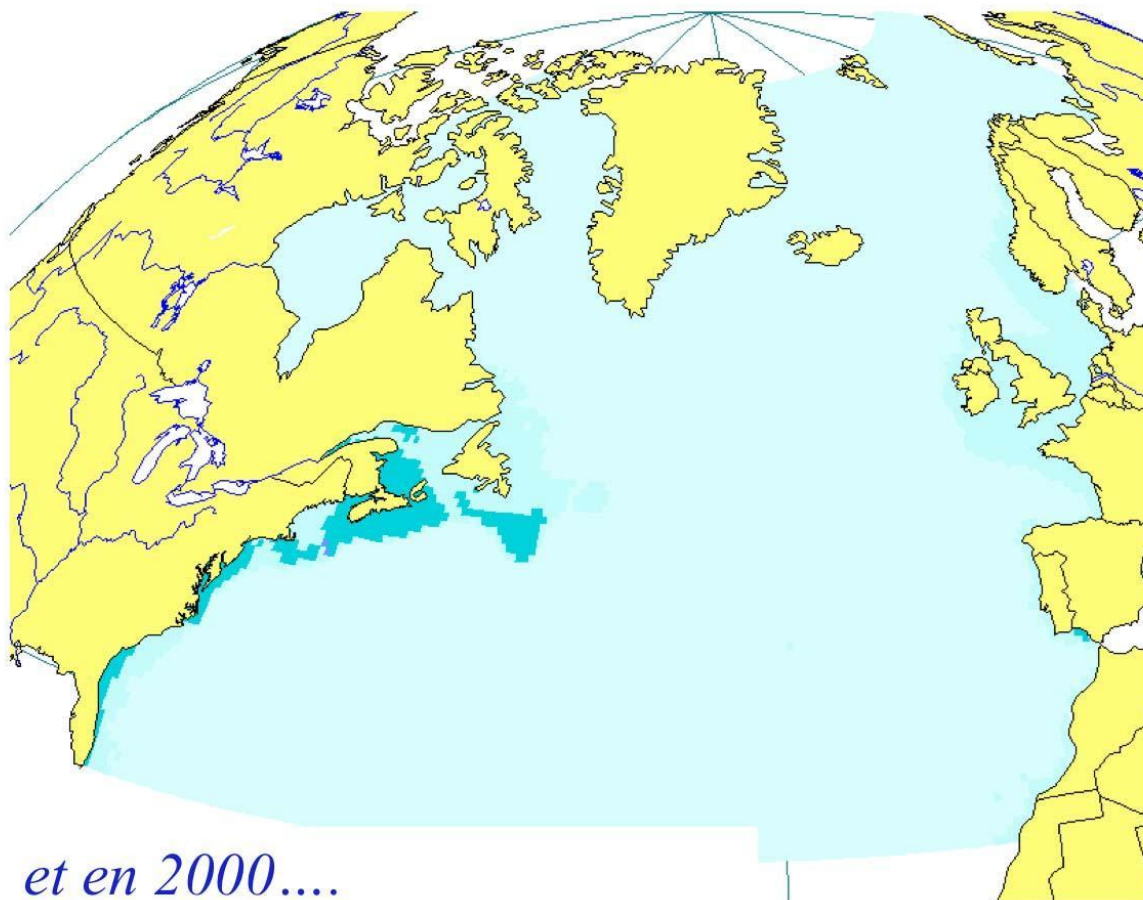
METAUX - ENERGIE

- **Cuivre-mobilité** : « nous pourrions, écrit Emmanuel Hache, consommer d'ici 2050 près de 90 % des ressources existantes en cuivre, 87 % de celles de bauxite, 83 % du cobalt, 60 % du nickel et 30 % du lithium » (<https://lapenseecologique.com/de-letat-des-lieux-en-termes-de-minerais-au-low-tech-et-a-la-sobriete/>).
- **Mobilité électrique individuelle** : pourrait être à l'origine de 50 à 60 % de la demande métaux. Une voiture thermique 20 kilos de cuivre, une hybride 40, une petite électrique 80 et une grosse 280 kilos, à quoi s'ajoutent 100 kilos par borne de recharge. Et il conviendra d'y ajouter les Led, les pompes à chaleurs, les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les convertisseurs pour l'hydrogène, les nouvelles infrastructures, etc.
- **Autres métaux** : nous devrions consommer 87 % réserves de bauxite, 83 % cobalt, 60 % nickel et 30 % lithium. Voir Emmanuel Hache in [https://lapenseecologique.com/de-letat-des-lieux-en-termes-de-minerais-au-low-tech-et-a-la-sobriete/\(consulté le 24/01/2023\)](https://lapenseecologique.com/de-letat-des-lieux-en-termes-de-minerais-au-low-tech-et-a-la-sobriete/(consulté%20le%2024/01/2023)).
- **Panneaux photovoltaïques** exigent du silicium, du gallium, du germanium, de l'indium, du sélénium, du cadmium, du tellure et du bismuth. Photovoltaïque et éolien mobilisent au KWh dix fois plus de métaux en général que les centrales à gaz.
- Et ce sans évoquer le coût énergétique et écologique, notamment et particulièrement hydrique, des **extractions minières**, ni les diverses pollutions engendrées à l'aval des cycles industriels. L'exploitation minière affecterait d'ores et déjà 50 millions de km² (Voir le dossier de la revue *RIS. La revue internationale et stratégique* (IRIS), n° 128, Hiver 2022, notamment l'article d'Aurora Stéphan).
- Seule perspective : **sobriété** énergétique.



Abondance de poissons Atlantique nord en 1900

Christensen et al. (Fish & Fisheries, 2003)



et en 2000....

Christensen *et al.* (*Fish & Fisheries*, 2003).

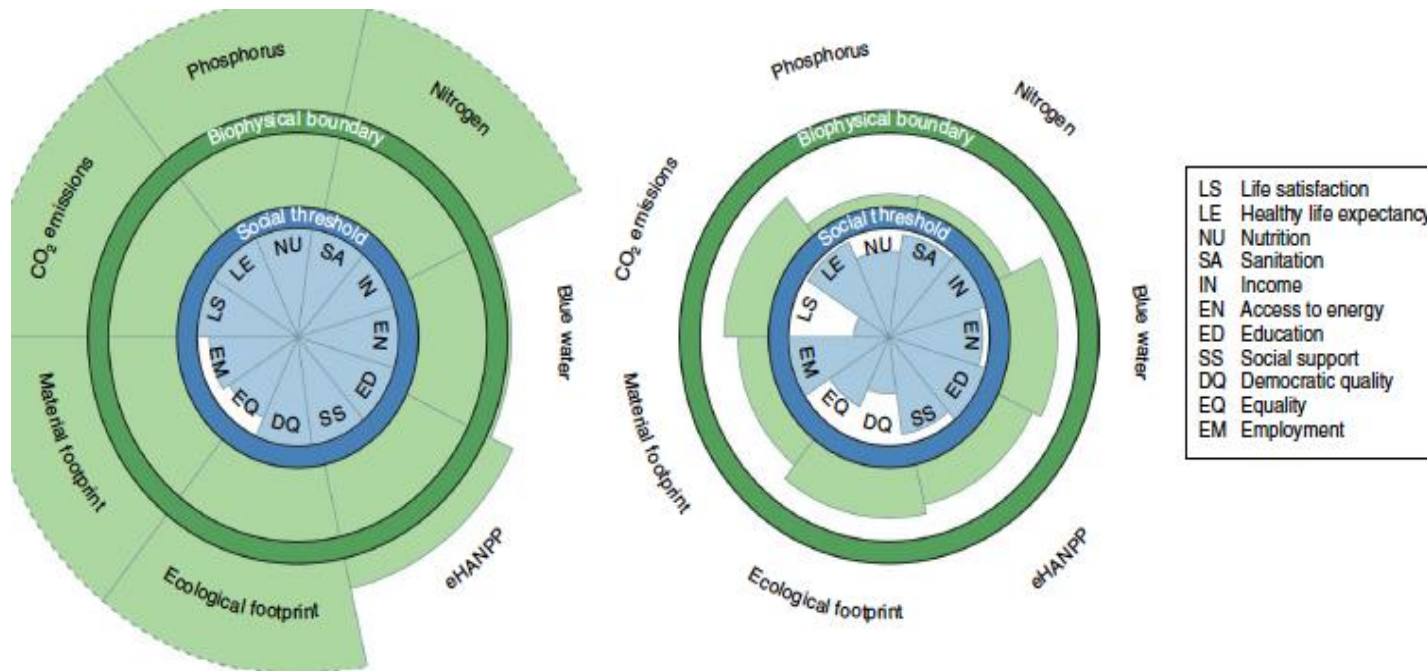
Que faire ?

- Sobriété : entre ascèse des sociétés traditionnelles et hubris des sociétés industrielles, la juste mesure ou l'optimum : ce qui détruit en effet l'habitabilité de la planète : masse d'objets, étendue et nombre des infrastructures (dont minières), démographie (mais baisse mondiale)
- Quotas, activités humano(vivant)-centrées.
- Economie permacirculaire : redescendre en-dessous d'une empreinte d'1 planète ; recyclage inutile au-dessus d'une croissance de 1 % de consommation d'une matière donnée ; quotas obligatoires de matières recyclées et/ou biosourcées dans biens manufacturés ; objets mutualisés si sophistiqués ; mélange low- et high-techs ; principes économie symbiotique (I. Delannoy) ; sous-optimalité du vivant (O. Hamant).
- Un urbanisme refondu : villes plus petites, végétalisation, déperméabilisation, bandes forestières.
- Mobilité et modalités multiples, mutualisation.

Que faire ?

- Agroécologie, permaculture et agroforesterie.
- Forêts primaires et réensauvagement.
- Démocratie écologique : effritement de l'ancien consensus en creux (maximiser production de richesses et répartir la richesse produite) ; quel nouveau consensus constitutionnel et transpartisan ?
- Emergence d'un nouveau paradigme : par-delà les dualismes modernes : droits de la nature (Mar Menor), morale écocentrée, gouvernance, arts et sciences.
- Détricoter les dominations nouées au néolithique.

Limites planétaires et fondamentaux sociaux



Daniel W. O'Neill et alii, « A good life for all within planetary boundaries », *Nature Sustainability*, vol. 1, February 2018, 88-95