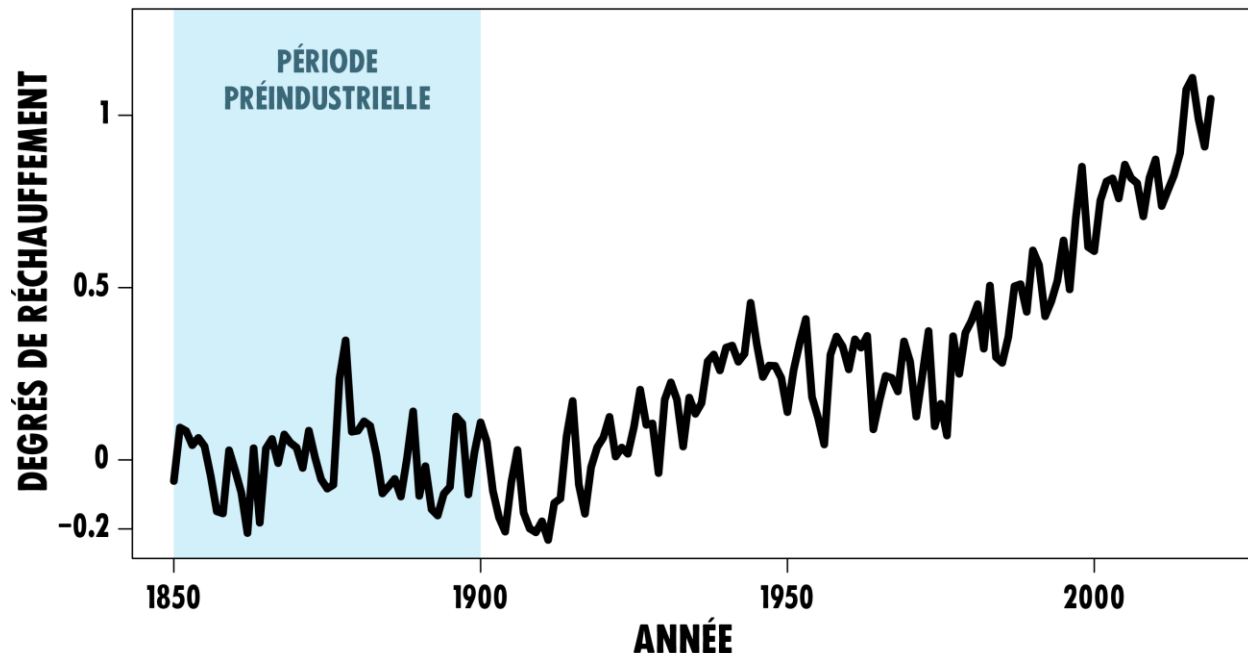


Bases scientifiques de la conférence XR

Ce document résume les données scientifiques sur lesquelles est basée la conférence XR. Toutes les sources (jeux de données, articles scientifiques) y sont référencées dans des liens hypertexte (texte bleu souligné). Les données brutes et les scripts utilisés pour créer les graphiques sont disponibles sur demande auprès de onychophora@protonmail.com.

Évolution passée de la température globale

Les données de températures récentes (1850 – 2019) sont les données HadCRUT4 globales, disponibles [ici](#).



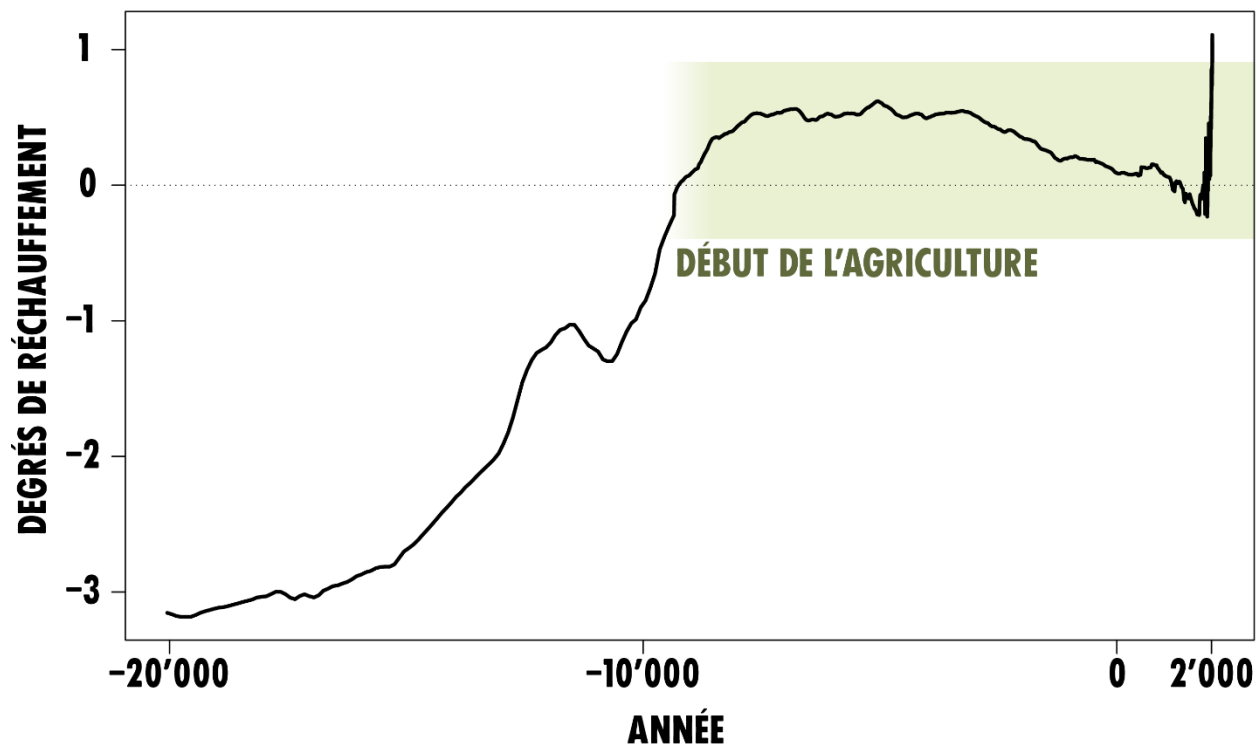
Les données entre - 9290 et 1850 proviennent de [Marcott et al. 2013 Science](#) (Table S1).

Les données entre -20050 et -9350 proviennent de [Shakun et al. 2012 Nature](#) (Table S1).

Les deux jeux de données ci-dessus sont des agrégats de 73 (Marcott) et 80 (Shakun) jeux de données de différents composés chimiques, de calottes glaciaires, de pollen et fossiles, répartis sur toute la surface de la planète.

Tous les jeux de données ont été centrés sur 0 = la moyenne de la période préindustrielle, définie dans [le rapport SR15 du GIEC](#) comme 1850 – 1900. Cette période varie d'une étude à l'autre, d'où les légères différences de températures reportées dans les différentes sources.

-20'000 marque la fin de la dernière glaciation, le Würm. A cette époque, un glacier d'environ un kilomètre d'épaisseur recouvrait Lausanne ([Campy 1992](#)). Ensuite le climat s'est réchauffé naturellement, et l'agriculture est apparue vers -9'500, avec la domestication des premières espèces végétales et animales (la [page wikipédia](#) est bien référencée). Dès lors, le climat a toujours oscillé entre un peu en-dessous de 0° et +1° (toujours de différence avec la période préindustrielle).



Projections futures de l'évolution de la température globale

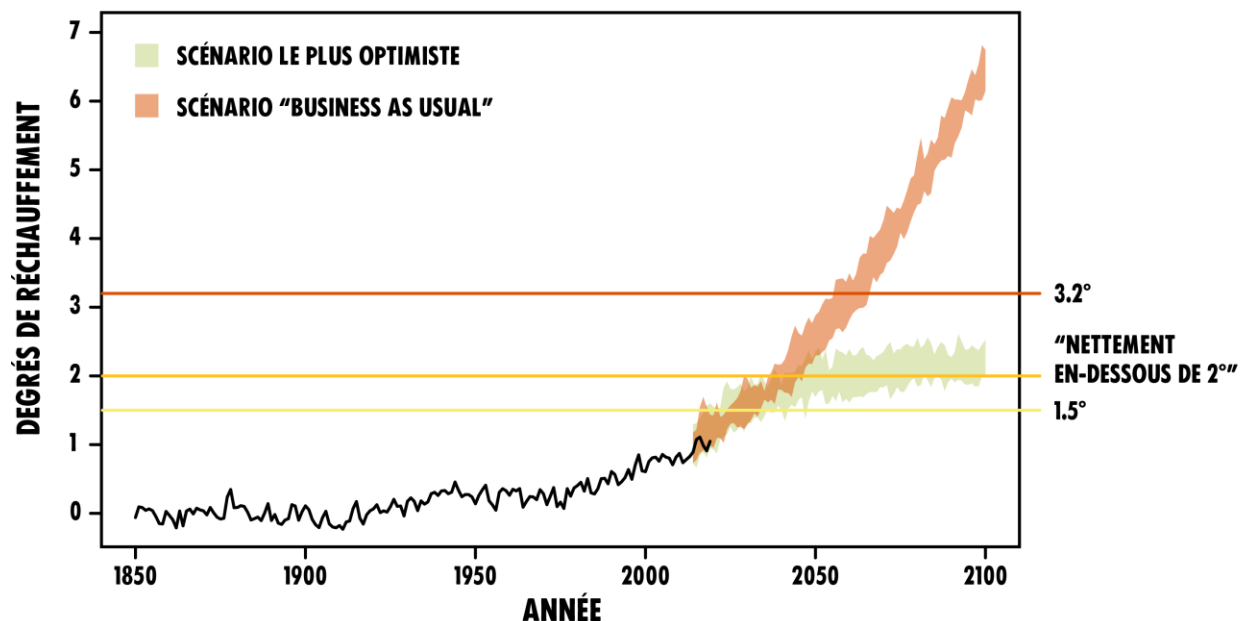
L'[Accord de Paris](#) est le produit de la COP21. Il fixe comme objectif pour les 189 pays qui l'ont signé de maintenir le réchauffement en-dessous de 1,5°, ou à défaut, "nettement en-dessous de 2°". Pour cela, chaque pays se fixe des objectifs (appelées Contributions déterminées au niveau national). Celles de la Suisse sont

disponibles [ici](#). Ces objectifs sont non contraignants. Cela signifie qu'aucune sanction n'est prévue si les pays ne les respectent pas. Dans son "[Emission Gap report](#)" de 2019, l'ONU prédit que si toutes les mesures proposées par tous les pays sont respectées, on atteindrait un réchauffement de 3.2° d'ici 2100. Actuellement, ces mesures ne sont pas respectées, et les Etats-Unis ont entamé leur rétraction, qui sera effective le 4 Novembre 2020.

La comparaison des impacts d'un réchauffement de 1.5° et 2° provient du [rapport SR15 du GIEC](#) de fin 2018, produit à la suite de l'Accord de Paris.

Les scénarios SSP ([Shared Socioeconomic Pathways](#); décrits initialement [ici](#)) utilisés par le GIEC prennent en compte l'effort fourni par les pays pour limiter les causes d'émissions, la coopération entre pays, la croissance économique et démographique, etc. Il y en a 5, (SSP1 – SSP5), allant du plus optimiste au plus pessimiste, et associés d'une valeur de [forçage radiatif](#) (ex. SSP1 2.5; SSP5 8.5). Le forçage radiatif représente la quantité d'énergie radiative envoyée par le soleil qui est capturée par l'atmosphère (via l'effet de serre), et qui contribue donc au réchauffement climatique.

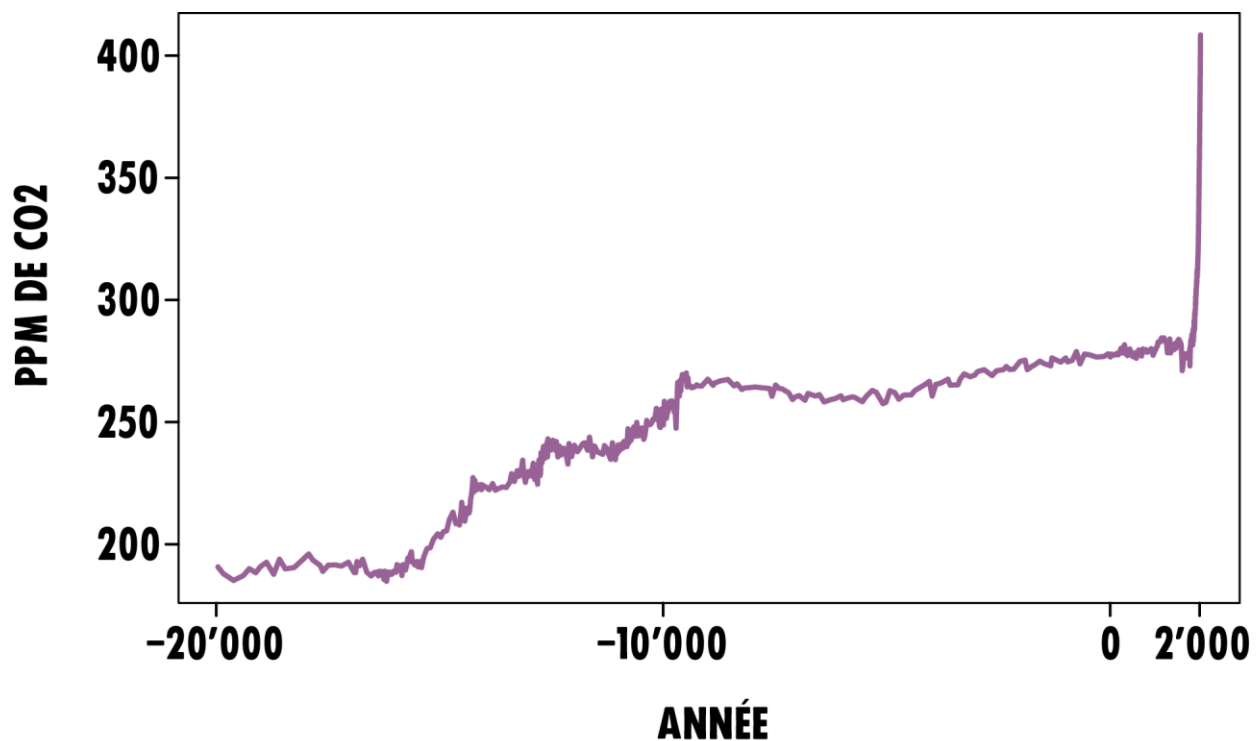
Les prédictions pour 2100 proviennent des dernières simulations du CNRS et de MétéoFrance. Elles seront combinés à d'autres, encore en train de tourner, dans un rapport du GIEC prévu pour 2021 qui sera une mise à jour du [rapport de synthèse de 2014](#). Les résultats ont été publiés dans [un communiqué de presse](#). Après de nombreuses tentatives infructueuses de trouver les données brutes sur [le site où elles sont archivées](#) et en contactant directement les chercheurs ayant réalisé les modèles, les données ont été digitalisées à partir du graphique à l'aide de [WebPlotDigitizer](#).



Effet de serre

La cause principale du réchauffement de la planète est l'effet de serre, loin devant les changements d'affectation du terrain. L'effet de serre est dû à la réverbération des rayons (principalement infrarouge) relâchés par la Terre par des gaz (CO₂, vapeur d'eau, méthane, etc.) qu'on appelle les gaz à effet de serre. Le dioxyde de carbone (CO₂) a un impact sur l'effet de serre plus faible que les autres gaz à effet de serre, mais est relâché en plus grande quantité et a une durée de vie plus élevée que le méthane, ce qui fait qu'il contribue globalement à la majorité de l'effet de serre.

On mesure la concentration de CO₂ en particules par million (ppm). C'est le nombre de molécules de CO₂ pour un million de particules tirées aléatoirement dans l'air. Les concentrations historiques de CO₂ proviennent de ourworldindata.org.



Boucles de rétroaction et points de bascule

L'évolution du climat n'est pas linéaire. De nombreux phénomènes naturels, appelés boucles de rétroaction (résumés par [Steffen et al. 2018 PNAS](#)), viennent accentuer le réchauffement. Ces phénomènes s'auto-renforcent, comme un effet boule de neige. Parmi ces boucles, on retrouve:

- L'effet Albedo. Les surfaces de couleurs claires réfléchissent plus les rayons du soleil (et donc absorbent moins de chaleur) que les surfaces foncées. Donc quand la glace fond, elle augmente la

surface de mer (foncée), ce qui augmente la quantité de chaleur absorbée, et réchauffe donc davantage la Terre.

- La fonte du permafrost. Le permafrost (du sol normalement gelé en permanence) contient énormément de CO₂, de méthane, et de matière organique. En fondant, le permafrost libère le CO₂ et le méthane, et l'activité des microbes reprend, ce qui permet la dégradation de la matière organique et la libération d'encore plus de CO₂ et de méthane. En 2019, des chercheurs ont observé que [certaines zone du permafrost avaient commencé à fondre avec 70 ans d'avance sur les prédictions](#).

En plus de gaz à effet de serre, le permafrost contient des virus anciens. En 2016, le [virus de l'anthrax a été décongelé](#) et a infecté un troupeau de rennes, qui ont finalement infecté 9 personnes. Un enfant est mort, et les autorités ont abattu 2300 rennes préventivement.

- La destruction de l'Amazonie. La forêt amazonienne régule son propre climat: les arbres absorbent les pluies, puis relâchent de l'eau par évapotranspiration, ce qui crée de nouvelles précipitations, etc. On estime qu'une goutte de pluie peut pleuvoir jusqu'à six fois en traversant l'Amazonie ([Staal et al. 2018](#)), car elle est absorbée puis relâchée par les arbres. En détruisant la forêt, on détruit aussi sa capacité à réguler le climat local. De plus, dans les pays tropicaux, la majorité de la matière organique est contenue dans la biomasse (les êtres vivants) et non dans le sol. Si on exporte la matière organique, il ne reste pas assez de nutriments pour générer de la forêt à nouveau. On pensait que si 30 à 40% de la forêt amazonienne est détruite, elle pourrait se transformer en savane. En fait, il semblerait que le point de bascule soit plutôt autour de [20%](#). On a déjà détruit 17%. La destruction de la forêt tropicale amazonienne cause une diminution du stockage de carbone, et donc l'augmentation de l'effet de serre.

Une bonne partie des boucles de rétroaction fonctionnent avec un point de bascule (tipping point). C'est-à-dire que rien ne se passe tant que le réchauffement est modéré. Par contre, à partir d'un certain réchauffement, ces phénomènes se déclenchent et deviennent irréversibles. Le point de déclenchements de ces différents phénomènes est difficile à prédire, mais certains auteurs avertissent qu'on pourrait s'en rapprocher ([Lenton et al. 2019 Nature](#)). Le déclenchement de ces boucles de rétroaction pourrait causer l'emballement du climat et aller jusqu'à rendre la Terre inhabitable (Steffen et al. 2018).

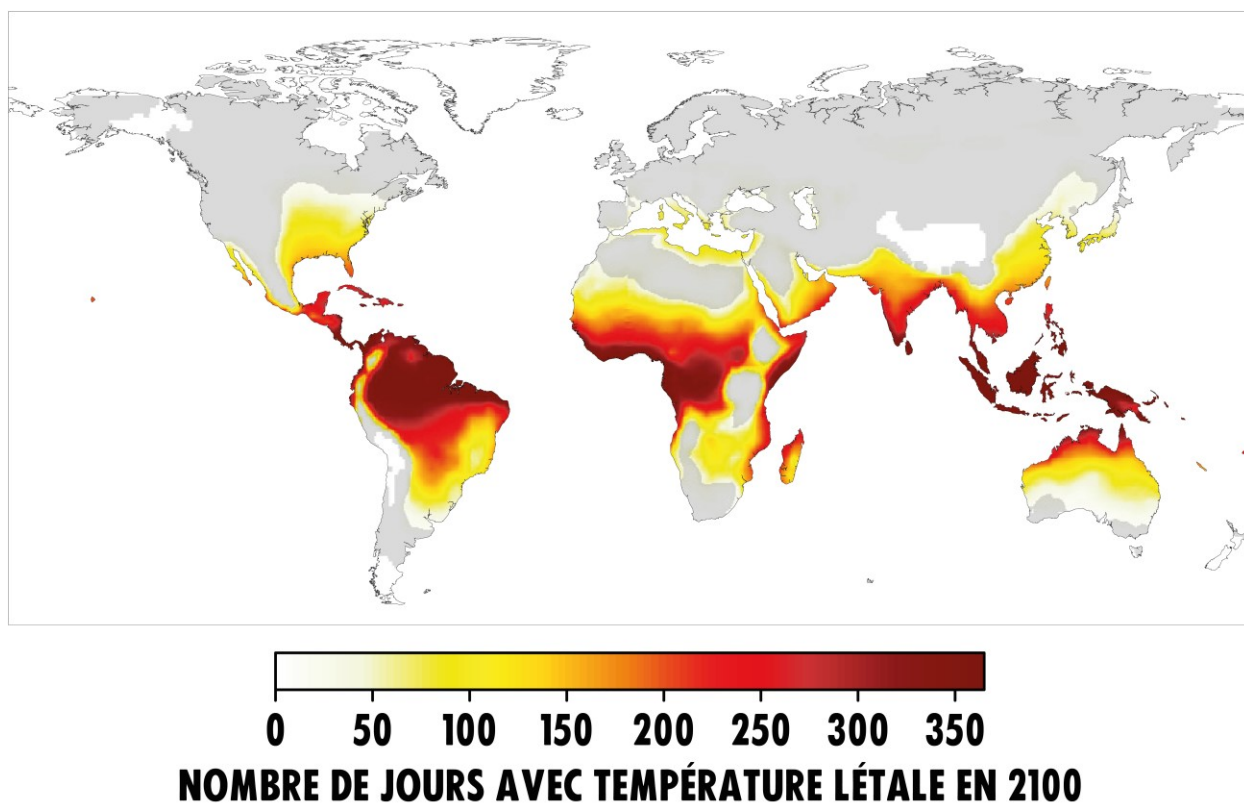
Ces boucles de rétroaction sont très difficiles à modéliser, si bien qu'[elles ne sont pas totalement prises en compte dans les modèles du GIEC](#). Les simulations mêmes les plus récentes sous-estiment donc probablement l'ampleur du réchauffement futur.

Conséquences

Les sections qui suivent ne constituent qu'un résumé non-exhaustif des différentes conséquences du réchauffement climatique sur les écosystèmes et les sociétés humaines. De manière générale, le dérèglement du climat global cause l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles.

Canicules, vagues de chaleur et thermorégulation

D'après [un rapport de l'OFEV](#), la canicule de 2003 a tué 1000 personnes en Suisse ; celle de 2015, 800 ; celle de 2018, près de 200. Les épisodes caniculaires de ces dernières années ne sont que le début. Un [article paru en 2017 dans Nature](#) estime qu'en 2100 les trois-quarts de l'humanité seront confrontés à au moins 20 jours de chaleur mortelle par année selon les tendances actuelles. Ces projections sont basées sur le scénario SSP5 8.5 (le plus pessimiste) de la génération des modèles CMIP5 (qui prédisait un réchauffement global d'environ 5°C en 2100). La combinaison de chaleur et d'humidité fait que le corps humain n'est plus capable d'ajuster sa température interne et meurt de chaud. La carte ci-dessous est tirée de cette étude :



Une [autre étude de 2020](#) conclut quant à elle que d'ici 2070, 1,5 à 3 milliards d'êtres humains vivront dans des zones qui ne seront simplement plus vivables. Actuellement, ces zones qui constituent la « niche climatique » de l'espèce humaine sont circonscrites essentiellement au désert du Sahara. En 2070 elles concerneront toute la zone intertropicale.

Intempéries, inondations

Avec l'augmentation des températures globales vont s'accroître les épisodes climatiques extrêmes, comme l'illustre une [étude de 2019](#) sur l'intensification récente des cyclones dans l'Atlantique. Il serait faux de penser

que ces intensifications concernent uniquement d'autres régions du monde, la Suisse sera aussi touchée par des phénomènes extrêmes. Dans son livre *La Suisse se réchauffe : effet de serre et changement climatique* (2011), la climatologue Martine Rebetez démontre la claire tendance à l'intensification des précipitations en Suisse. Des épisodes tels que [l'inondation de 2019 à Dombresson](#) accompagnés de glissements de terrains seront plus fréquents et toucheront directement la population.

Incendies de forêts

L'hiver 2019-2020 a été marqué par les méga-feux qui ont ravagé le bush australien. Même si le facteur humain reste déterminant dans les départs de feux de broussailles ou de forêts, les épisodes météorologiques favorisant les feux (chaleur, sécheresse, vent...), mesurés par le "[Fire Weather Index](#)", sont en augmentation à cause du réchauffement climatique. Cela s'ajoute à la déforestation et aux départs de feux accidentels ou criminels, faisant peser un risque majeur sur les forêts et leur rôle de [puits de carbone](#). De plus, des écosystèmes d'ordinaire jamais touchés par des incendies subissent aujourd'hui des dégâts considérables dus à l'activité humaine et au réchauffement climatique (par exemple en [Amazonie](#)). Ces écosystèmes ne sont pas adaptés et se remettent mal des incendies, ceci pouvant mener à une transformation abrupte vers une savanne ([savanisation](#)).

Sécheresses

Le changement climatique va exacerber les tensions liées à l'accès à l'eau. Comme l'explique le [récent rapport du GIEC sur les sols](#), la désertification, la dégradation des sols et le manque d'eau potable poseront de graves problèmes pour la sécurité alimentaire et les autres services nécessaires à la vie de millions d'êtres humains. Par exemple en Inde, un marché noir de l'eau s'est mis en place et l'augmentation constante des températures fait peser un risque extrême pour l'accès à l'eau des populations les plus vulnérables. Comme le souligne un expert dans une vidéo d'information de *National Geographic* au sujet des [mafias de l'eau](#) :

« Les gens ont généralement trois solutions quand ils font face à un manque d'eau : ils peuvent s'adapter s'ils en ont les ressources. Ils peuvent migrer. Ou ils peuvent rester pour souffrir et mourir. S'ils décident de partir, cela devient un problème sécuritaire à l'échelle du monde. » (Aaron Wolf)

Par ailleurs, des études ont montré les liens qui peuvent s'établir entre les conséquences du réchauffement climatique et l'émergence de conflits telle que la [guerre en Syrie](#), même si les causes restent multifactorielles.

Sécurité et effondrement des systèmes sociaux

L'ensemble des conséquences liées au réchauffement climatique mettent en péril la sécurité des peuples à l'échelle du globe. [Un rapport de 2020](#) d'experts militaires des Etats-Unis pointe les dangers imminents pour la

sécurité au niveau mondial, même à des degrés de réchauffement « optimistes ». D'autres institutions loin d'être des organisations traditionnellement militantes alertent des désastres à venir. C'est le cas notamment d'un [rapport de la FAO](#) (Food and Agriculture Organisation) qui alertait en 2018 sur la trajectoire insoutenable du système alimentaire mondial face aux impacts climatiques et à la perte des récoltes. Déjà en 2010, la [Banque mondiale](#) estimait qu'avec un réchauffement de « seulement » 2°C, entre 100 et 400 millions de personnes supplémentaires pourraient se retrouver confrontées à la famine :

« Un réchauffement d'à peine 2 °C par rapport à la période préindustrielle suffirait à provoquer des perturbations climatiques aux conséquences planétaires. L'intensification de la variabilité du climat, la multiplication et l'intensification de phénomènes météorologiques extrêmes et l'exposition accrue des zones côtières aux marées de tempête pourraient accroître fortement le risque d'impacts climatiques catastrophiques et irréversibles. Entre 100 millions et 400 millions de personnes supplémentaires pourraient souffrir de la faim, et entre un à deux milliards d'individus de plus pourraient ne plus avoir assez d'eau pour satisfaire à leurs besoins. » (p.26)

Déclin de la biodiversité et destruction des écosystèmes

[87.5% des espèces de plantes à fleurs](#) et [plus de 75% des espèces végétales cultivées](#) sont pollinisées par les insectes. [Une étude en Allemagne](#) a documenté un déclin de plus de 75% de la biomasse des insectes volants en 27 ans. Cette étude a été effectuée dans une réserve naturelle. Le déclin dans les zones agricoles avoisinantes pourrait donc être encore plus élevé. Selon [une récente méta-analyse](#), il semblerait que le déclin soit moins violent à l'échelle globale. Les insectes aquatiques semblent même augmenter à nouveau maintenant que la pollution des eaux est en diminution dans certains pays. D'après le [rapport de 2019 de l'IPBES](#), les pertes mondiales annuelles en rendements agricoles dûs au manque de pollinisateurs s'élèvent à 235 à 577 milliards de dollars. Cela équivaut à peu près aux [plans de relance post-covid19](#) en Suisse et dans les pays limitrophes (en ChF): Suisse : 65 milliards ; Allemagne : 164 milliards ; France : 116 milliards ; Autriche : 40 milliards ; Italie : 26 milliards ; Total: 411 milliards.

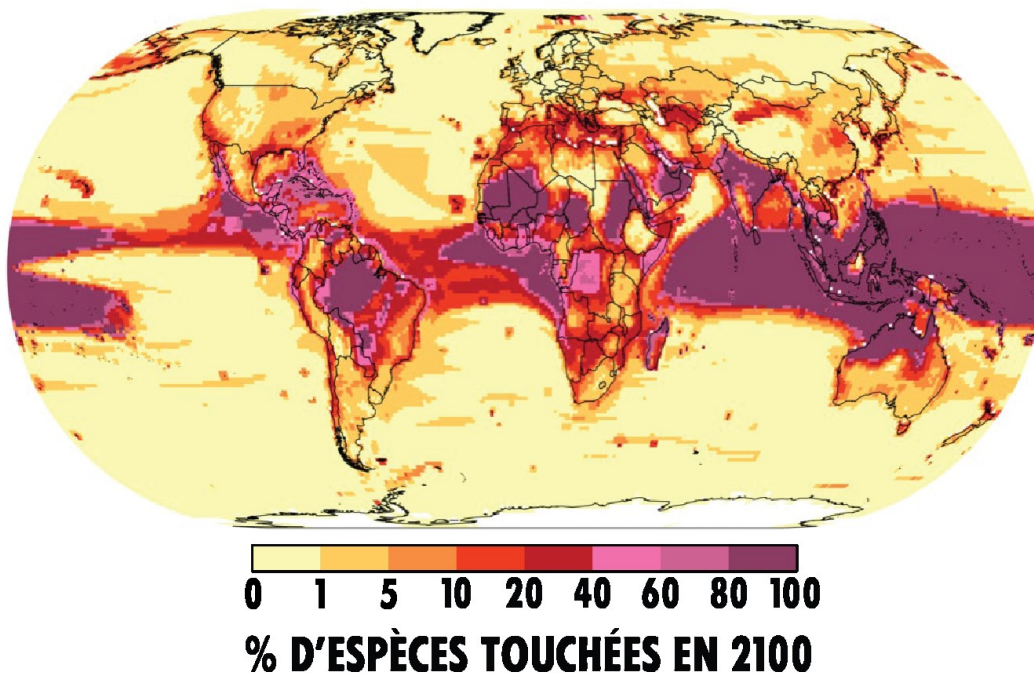
[Une étude](#) a estimé que la biomasse actuelle des mammifères est composée à 60% de bétail. Les humains représentent 36%, et il ne reste plus que 4% de mammifères sauvages. Par biomasse, on entend « si on pèse tous les mammifères ». Pour 4 kg de mammifères sauvages, il y a donc 60 kg de bétail et 36 kg d'humain.

Le [rapport de 2019 de l'IPBES](#) nous apprend que 75% de la surface des écosystèmes terrestres a été altérée (remplacée par des cultures, urbanisée, polluée, ...), 66% de la surface des écosystèmes marins « subit des impacts cumulés accrus » (surpêche, destruction, pollution), et 85% des zones humides (marais, étangs, mangroves) a été détruit. Ce dernier chiffre est probablement basé sur [une étude de 2014](#) qui dit que c'est en fait 87% des marais qui ont été détruits.

On parle d'extinction de masse lorsque $\frac{3}{4}$ des espèces disparaissent dans une courte période (à l'échelle géologique). Cinq extinctions de masse ont été documentées durant les 450 millions d'années. Selon [une review de 2011](#), les cinq extinctions de masses étaient soit causées par, soit liées à, un changement rapide de

la quantité de CO₂ dans l'atmosphère. Pour une partie d'entre elles (en particulier la dernière, celle qui a causé l'extinction des dinosaures), une collision avec une météorite aurait joué un rôle important. Selon les sources, le taux d'extinction d'espèces actuel est 100 à 1000 ([source 1](#), [source 2](#)) fois plus élevé que le taux naturel. D'après [le rapport de 2019 l'IPBES](#), un million des huit millions d'espèces connues à ce jour est menacé d'extinction dans les prochaines décennies. D'après [une étude récente](#), 74 espèces de mammifères, 336 espèces d'oiseaux, 41 espèces de reptiles et 65 espèces d'amphibiens comportent moins de 1000 individus.

Une [étude de 2020](#) a évalué la proportion des espèces qui seront sorties de leur « niche climatique » en 2100, selon le scénario climatique SSP5 8.5 version CMIP5 (qui prédisait un réchauffement global d'environ 4 à 5 degrés à la fin du siècle) (par « niche », en écologie, on entend l'ensemble des conditions environnementales dans lesquelles une espèce peut vivre. La niche climatique est donc l'ensemble des températures où une espèce peut maintenir des populations stables). Cette étude a compilé des données pour plus de 30'000 espèces d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens, de poissons, d'invertébrés marins, de coraux et de plantes aquatiques. En 2030 déjà, certains océans tropicaux auront perdu la majorité de leurs espèces, car il y fera trop chaud. En Amazonie, un changement abrupt aura lieu vers 2050, où la quasi-totalité des espèces sortiront de leur niche climatique en quelques années. D'ici 2100, la plupart des écosystèmes tropicaux auront perdu la majorité de leurs espèces.



Émissions en Suisse

On mesure habituellement les émissions de gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO₂, représentent la quantité de CO₂, plus la quantité hypothétique de CO₂ qui causerait le même forçage radiatif que les autres gaz à effet de serre émis. En 2017, les émissions de gaz à effets de serre directes Suisses (émises sur sol Suisse, à l'exception de celles émises pour la production de biens destinées à l'exportation) s'élevaient à 40.192 millions de tonnes équivalent CO₂, selon [les comptes des émissions dans l'air](#) de l'office fédéral de la statistique. Selon cette même source, les émissions indirectes (émises à l'étranger, dues à la production de biens importés pour être utilisés en Suisse) s'élevaient elles à 78.520 millions de tonnes équivalent CO₂. Les émissions indirectes ne sont pas incluses dans l'objectif de neutralité à 2050 du Conseil Fédéral, comme dans la plupart des plans climat cantonaux.

Selon le [Masterplan climat](#) de 2018 de l'Alliance climatique Suisse, la place financière est responsable de 1100 millions de tonnes équivalent CO₂ annuellement.

