

Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

Fanny Pouyet
fanny.pouyet@universite-paris-saclay.fr
Semestre 6 - 2025
Cours n°2

Université Paris-Saclay,
L3 Informatique,
UE Projet



Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

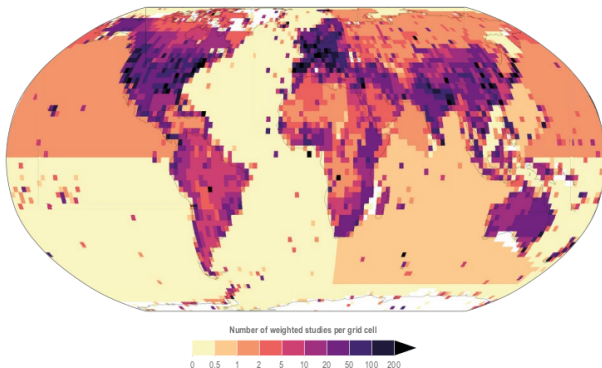
Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

Régions montagneuses

Voies de développement résilientes au changement climatique

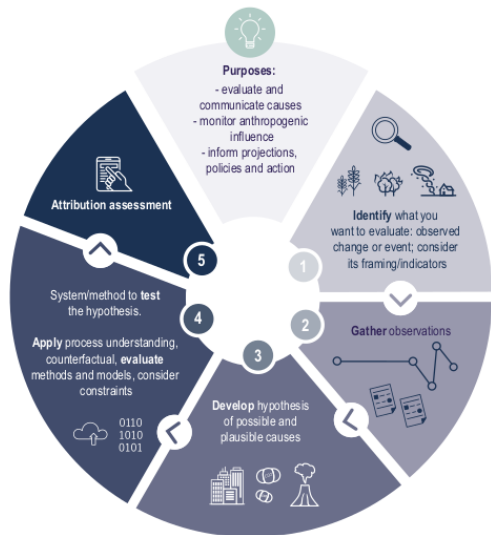
Mise en évidence des impacts du changement climatique dans le monde



Carte de densité des preuves de l'impact du changement climatique estimée à partir de $> 70,000$ études (Callaghan et al. 2021)
Quelle méthodologie à votre avis ?

Méthodologie pour identifier les facteurs causaux aux changements observés

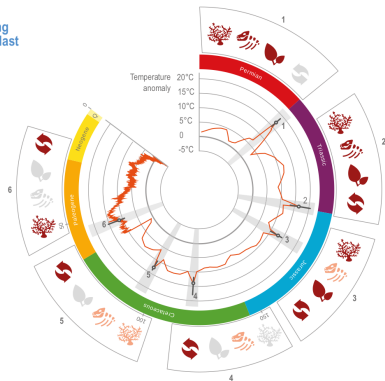
1. Observations et méthodes empiriques
2. Modélisations
3. Comparaisons entre valeurs observées et modèle hypothétique



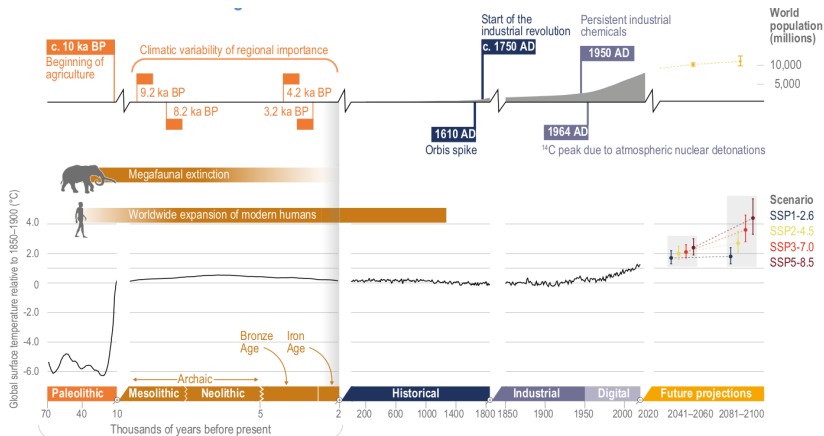
Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques passés

- ▶ Le climat a toujours changé, souvent avec de graves effets sur la nature, y compris la perte d'espèces.
- ▶ Les options d'adaptation au changement climatique rapide sont limitées (ex: disparition des dinosaures)

Biological responses to six well-known ancient rapid warming events (hyperthermals) over the last 300 million years

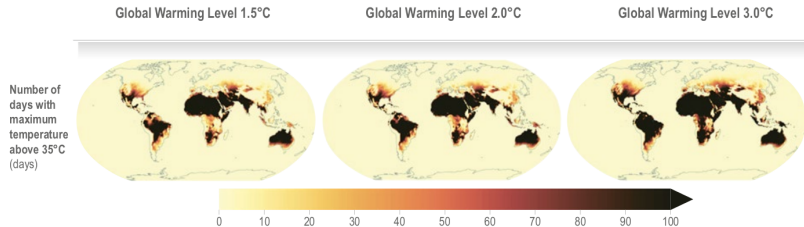


Humanité et changements climatiques



L'humanité s'embarque sur une trajectoire au-delà des températures mondiales connues depuis au moins l'avènement de l'agriculture

Projection coté températures



Les températures peuvent devenir insupportables dans des régions qui aujourd'hui abritent plusieurs centaines de millions d'individus

Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

Régions montagneuses

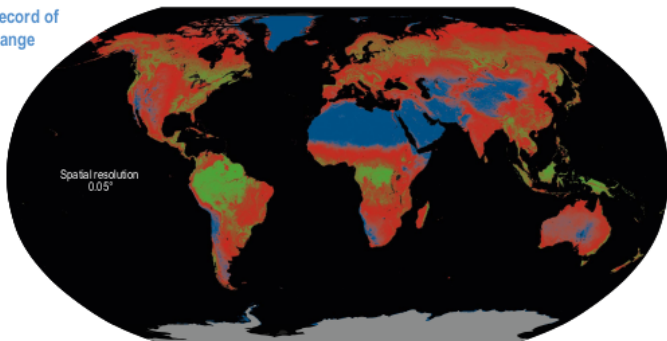
Voies de développement résilientes au changement climatique

Utilisation des terres de 1982 à 2016

A satellite-based record of
global land use change
(1982–2016)

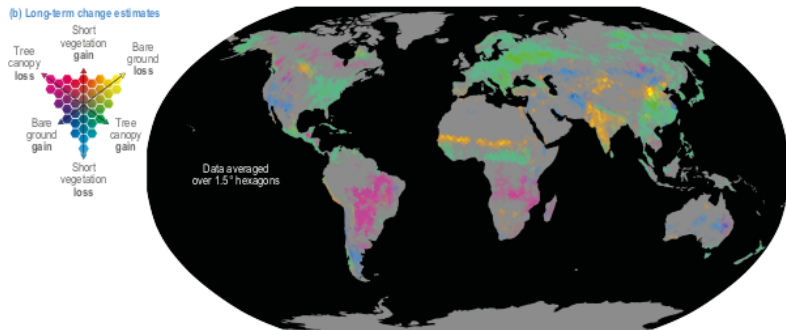
(a) Mean annual estimates

- Tree canopy cover
- Short vegetation cover
- Bare ground cover



Estimations annuelles moyennes de la couverture d'après des enregistrements satellites de la canopée mondiale des arbres (TC), de la végétation courte (SV) et de la couverture du sol nu (BG) (Song et al., 2018).

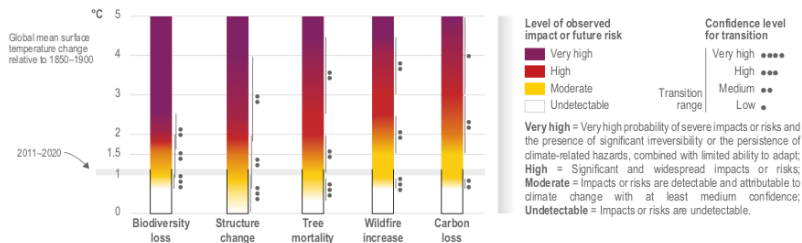
Utilisation des terres - Projections



Estimations des changements à long terme (35 ans), les pixels montrent une tendance statistiquement significative (test de Mann-Kendall bilatéral, $P < 0,05$).

Les changements dominants sont le gain TC avec la perte SV (vert/bleu); gain de BG avec perte de TC (rose); Gain SV avec perte de BG (jaune) etc.

Principaux risques pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce liés au changement climatique



Les niveaux de risque n'incluent pas les interventions susceptibles de réduire les risques. Les effets combinés du changement climatique, de la déforestation, de l'expansion agricole et de l'urbanisation ainsi que la pollution de l'air, de l'eau et du sol et à d'autres aléas non climatiques pourraient accroître les risques.

Les rétroactions des écosystèmes terrestres: cas des forêts



Le stockage du carbone comprend la biomasse forestière, mais pas le sol, la tourbe et le pergélisol. Les déplacements biogéochimiques sont estimés avec l'intensification du cycle du carbone et l'augmentation de la biomasse aux hautes latitudes, en supposant que l'azote n'est pas limitant (Právělie, 2018; Bonan, 2008).

Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

Régions montagneuses

Voies de développement résilientes au changement climatique

Augmentation du niveau de la mer

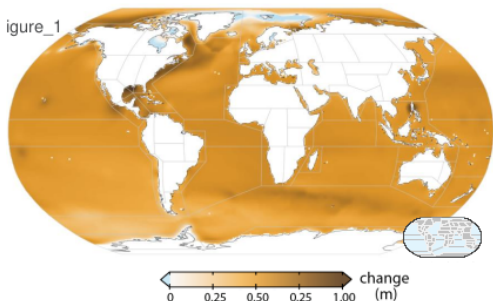
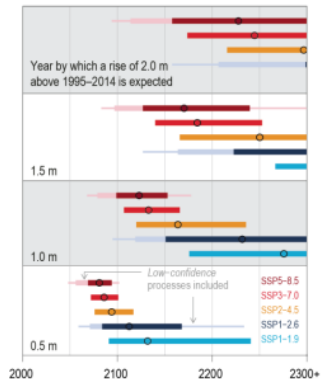


Figure 1: CMIP6 – Projected sea level rise for 2081-2100 (relative to 1995-2014) for medium (SSP2-4.5) emission scenario (Interactive Atlas).

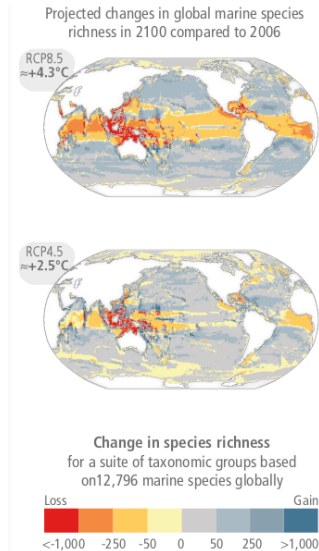
(c) Projected timing of sea level rise milestones



Le niveau de la mer va impacter l'habitabilité des villes côtières ou encore la pêche.

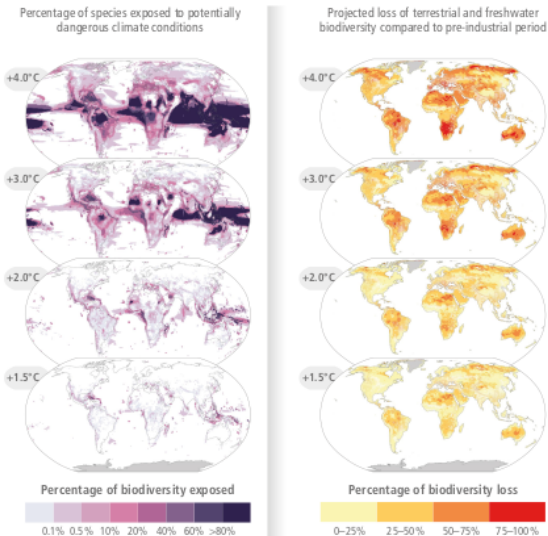
Risques attendus – Espèces marines

Les espèces et les écosystèmes du monde entier sont de plus en plus menacés en raison du changement climatique.



Risques attendus – Echelle mondiale

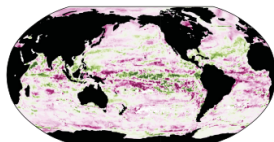
Avec chaque 1°C supplémentaire, davantage d'espèces seront exposées à des conditions climatiques potentiellement dangereuses et davantage de biodiversité sera perdue.



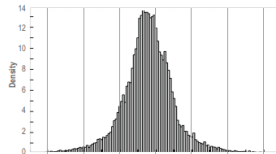
Exemple de phénologie : le cas du phytoplancton

Phytoplancton = algues marines microscopiques saisonnières qui produisent 50% de l'oxygène primaire consommé et de la matière organique produite sur Terre. Phénologie = variation des phénomènes périodiques du vivant.

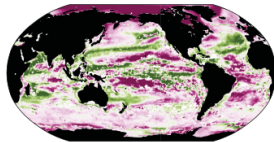
(a) SSP1-2.6



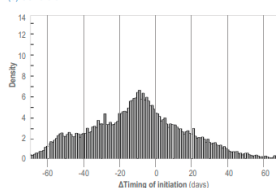
(b) SSP1-2.6



(c) SSP5-8.5



(d) SSP5-8.5



Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

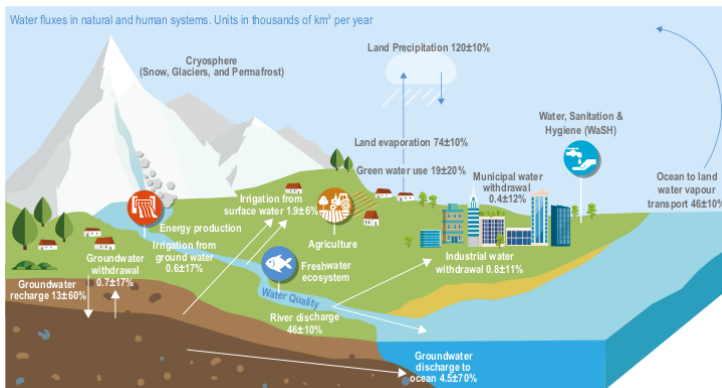
Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

Régions montagneuses

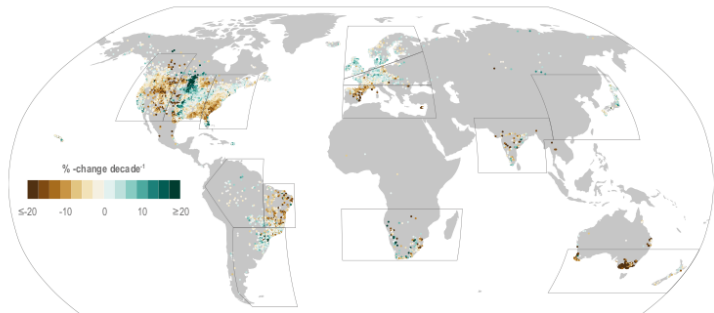
Voies de développement résilientes au changement climatique

Le cycle de l'eau vu par les humains



Changements observés - le cas des rivières

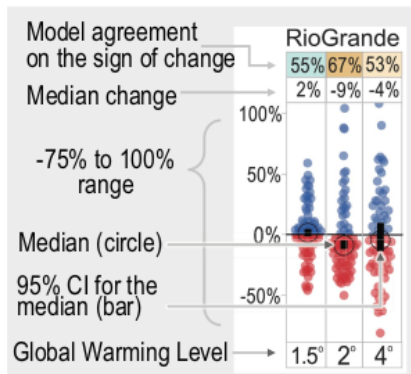
(a) Percentage changes in flow in individual rivers 1971–2010



La plupart des études sont réalisées dans les pays occidentaux (données historiques).

Changements attendus - Exemple du Rio Grande

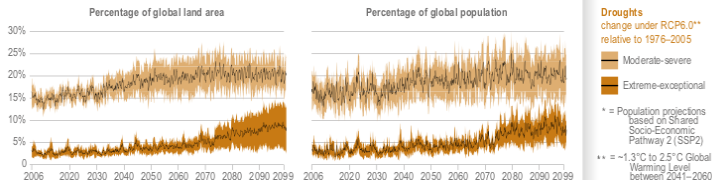
Changement du flux moyen annuel selon le modèle SSP retenu. Chaque point montre les résultats d'une simulation (médiane en noir) selon plusieurs modèles avec diverses combinaisons de modèles hydrologiques et plusieurs modèle d'écosystèmes terrestres et d'hydrologie (Betts et al., 2018 ; Koutroulis et al., 2019).



Changements projetés des zones et de la population touchée par la sécheresse

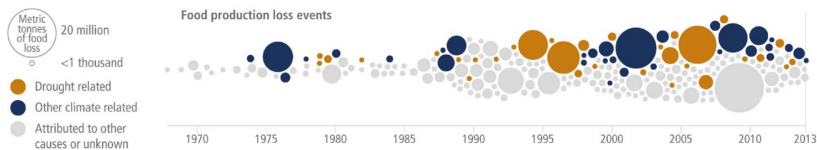
Superficie continentale globale sous sécheresse modérée ($-0,8 \leq \text{TWS-DSI} < -1,6$), et extrême ($\text{TWS-DSI} < -1,6$).

Fraction de la population mondiale exposée à une sécheresse, en utilisant la projection démographique SSP2 (Pohrel et al., 2021).



TWS-DSI = mesure composite qui intègre des projections liées au stockage de l'eau terrestre et à la sévérité de la sécheresse, basées sur les résultats de modèles hydrologiques et climatiques spécifiques

Impact sur les risques agroalimentaires



Les événements climatiques extrêmes ont affecté la productivité de tous les secteurs de l'agriculture avec des conséquences négatives pour la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance (degré de confiance élevé).

La fréquence des pertes soudaines de production alimentaire a augmenté depuis au moins le milieu du XXe siècle sur terre et sur mer (preuves moyennes, confiance élevée).

Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

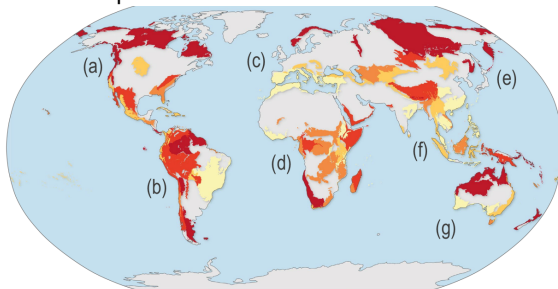
Régions montagneuses

Voies de développement résilientes au changement climatique

Définition

Zones géographiques exceptionnellement riches en espèces écologiquement distinctes et/ou endémiques (espèces restreinte à cette zone géographique).

Impact sur la biodiversité terrestre



- ▶ modification des aires de répartition géographique, range shift (confiance élevée);
- ▶ mortalité accrue dans les récifs coralliens ou les forêts de varech (notamment après des vagues de chaleur) (confiance élevée).

De quoi parle-t-on ? Biodiversité terrestre

(a)
Patagonian
steppe



(b)
Arabian
highlands,
woodlands
and
shrublands



(c)
Patagonian
glacier



(d)
Borneo
rainforest

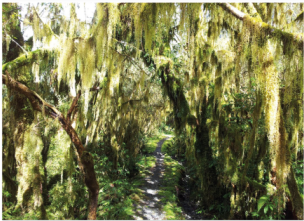


Biodiversité terrestre

(e)
Nusu
Tennggara
forests,
Komodo
islands



(g)
New
Zealand
temperate
rainforest



(f)
Atlantic
forest of
Brazil



(h)
New
Zealand
temperate
rainforest



Biodiversité polaire et boréale dans la taïga arctique (Norvège)



Biodiversité terrestre en Afrique

(a)
Drakensberg
montane
woodlands
and
grasslands



Biodiversité terrestre en Afrique

(b)
East African
savannas



(c)
Namibia
deserts



(d)
Fynbos,
South Africa



(e)
East African
savannas



Biodiversité des îles

(a)
Marquesas



(b)
Reunion Island



(c)
New Caledonia



Biodiversité des îles

(d)
Galapagos,
volcanic
crater



(e)
Galapagos,
coastal



Biodiversité d'eau douce (1)

(a)
Headwaters
of the
Amazon
Basin,
Bolivia



(b)
Bua River



Biodiversité d'eau douce (2)

(c)
Lake
Malawi



(d)
Lake
Titicaca,
high
Andes



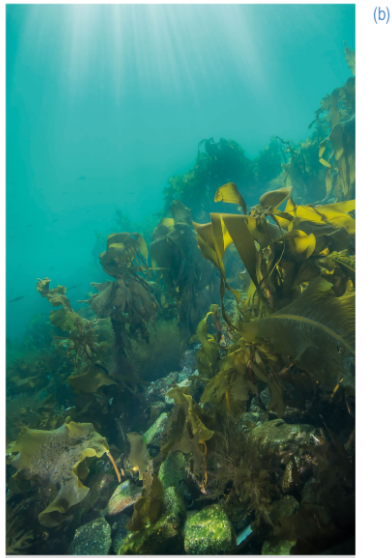
(e)
Riverbank
in Borneo,
Sundaland



(f)
Mangroves
in Papua
New Guinea



Biodiversité marine des hautes latitudes (1)



Biodiversité marine des hautes latitudes (2)

(d)



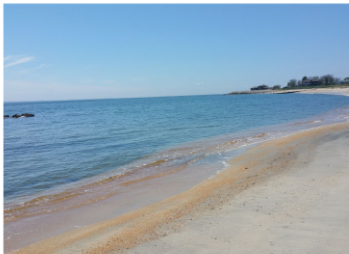
(e)



(f)



(g)



Biodiversité des récifs coralliens

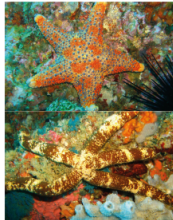
(a) Sulawesi



(b) Philippines



(c) New Zealand



(d) New Caledonia



(e) Galapagos



(f) Okinawa, Nansi Shoto Islands



(g) Raja Ampat, Bismarck-Solomon Sea



Le changement climatique, seul responsable ?

Les hotspots de biodiversité sont impactés par le changement climatique et sont aggravés, par les activités humaines (degré de confiance très élevé).

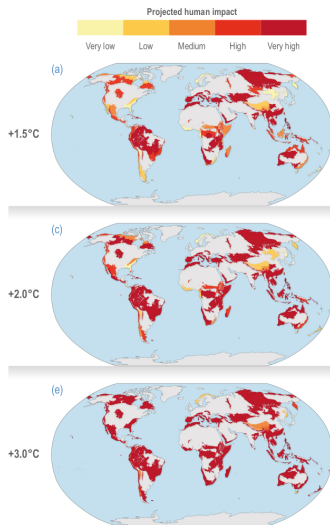
- ▶ perte et fragmentation de l'habitat
- ▶ chasse et pêche
- ▶ surexploitation
- ▶ captage de l'eau
- ▶ pollution et enrichissement de nutriments
- ▶ introduction de nouvelles espèces envahissantes, de ravageurs et de maladies

Tous ces éléments réduisent la résilience climatique (confiance très élevée), compliquant l'attribution des changements observés au changement climatique.

Risques attendus sur la biodiversité

Sur > 6000 projections pour plus de 2700 espèces évaluées dans les hotspots de biodiversité, $\approx 44\%$ sont à haut risque d'extinction (degré de confiance moyen). Impact en premier lieu les espèces endémiques (confiance élevée). Leur risque de disparition varie selon les régions :

- ▶ 100% sur les îles
- ▶ 84% pour les montagnes
- ▶ 12% sur les continents (confiance moyenne)



Biodiversité terrestre

Exemple des feux de forêt

Le nombre et la gravité des incendies sont régies par des processus liés au climat (Bradstock, 2010):

1. la croissance de la biomasse combustible,
2. l'humidité et le type de combustible,
3. la source d'inflammation et
4. les conditions météorologiques favorables à la propagation du feu (changement de saisons).

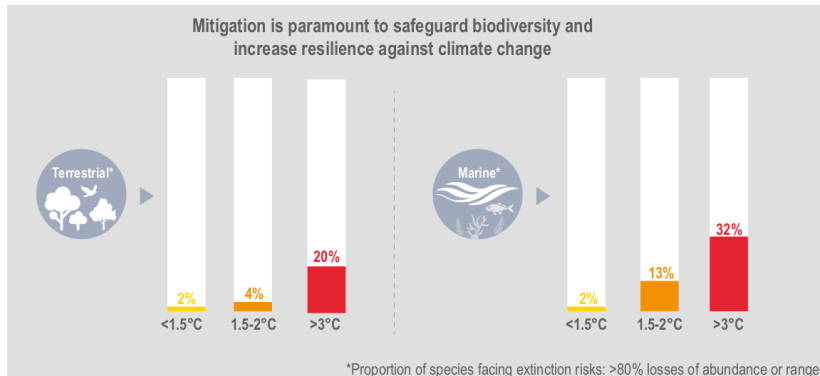
Plusieurs stratégies de régénération post-incendie du biote



Les réponses écologiques au feu sont influencées par les régimes de feu historiques et la biodiversité:

1. Les forêts de sorbier d'Australie (*Eucalyptus regnans*): incendies de grande intensité, rares (> 100 ans) qui remplacent les populations (maturité reproductive lente > 20 ans)
2. Les forêts de pin ponderosa (*Pinus ponderosa*) des États-Unis: feux fréquents (5 à 25 ans), de faible intensité, avec une récupération post-incendie plus rapide. Cependant, les temps de récupération s'allongent également en raison d'un siècle de suppression efficace des incendies.

Tous les types d'espèces sont menacés et l'atténuation est essentielle



L'atténuation est primordiale pour sauvegarder la biodiversité et accroître la résilience face au changement climatique

Les options d'adaptation

Sachant que > 3 milliards de personnes vivent dans des hotspots de biodiversité, la réduction des pressions existantes (non climatiques) dues aux activités humaines est essentielle pour renforcer la résilience dans les hotspots (confiance élevée) :

- ▶ expansion des zones entièrement protégées,
- ▶ la restauration et les pratiques d'utilisation durable

Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

Régions montagneuses

Voies de développement résilientes au changement climatique

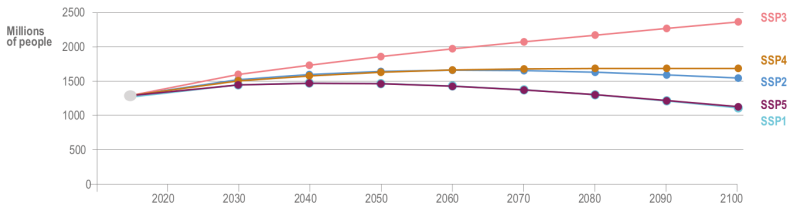
Projection de densité d'habitat en région montagneuse

1,28 milliards de personnes vivent dans des régions montagneuses
(ex: 720 millions en Asie; 116 millions en Europe)

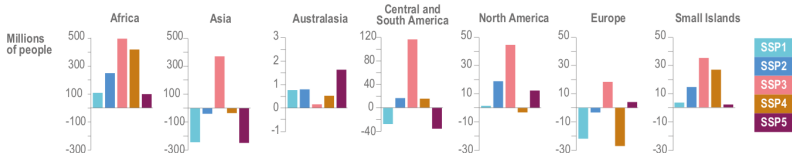
Projection de densité d'habitat en région montagneuse

1,28 milliards de personnes vivent dans des régions montagneuses
(ex: 720 millions en Asie; 116 millions en Europe)

(b) Global population projections in mountain regions by 2100 for different SSPs

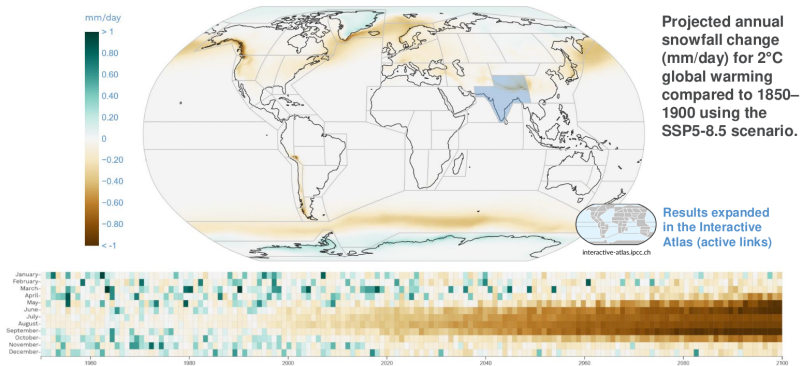


(c) Projected population changes in mountain regions for different SSPs from 2015 to 2100, per IPCC WGII Continental Region



Dans les régions montagneuses, la neige plus rare

Impact direct du réchauffement climatique

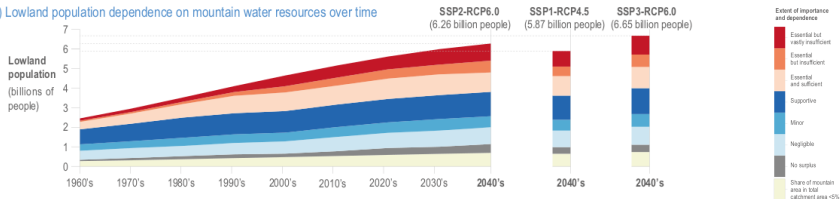


Impact sur les sociétés humaines

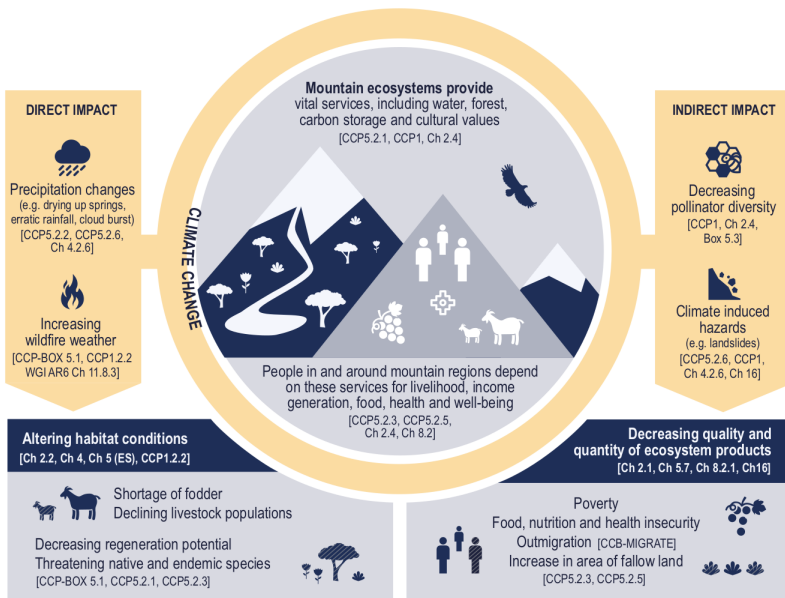
La montagne est la principale source d'eau douce pour les populations humaines

La perturbation du cycle de l'eau affectera la plupart des populations humaines (Viviroli et al., 2020)

(c) Lowland population dependence on mountain water resources over time



Un écosystème montagneux à risques



Plan

Point de départ

Écosystèmes terrestres (+ eau douce) et leurs services

Océans/écosystèmes côtiers et leurs services

Gestion des ressources en eau

Hotspots de biodiversité

Régions montagneuses

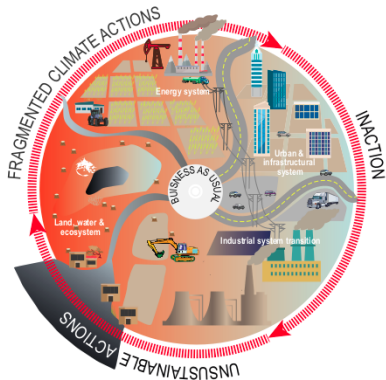
Voies de développement résilientes au changement climatique

Développement résilient au changement climatique

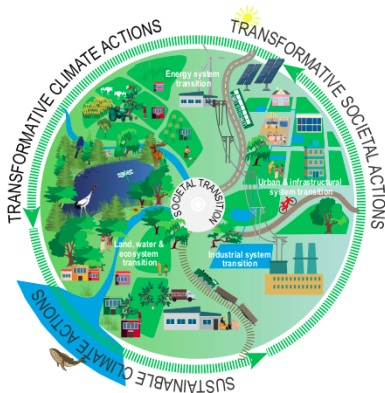
Les principales solutions sont connues. Elles ne sont pas encore mises en place.

Transformative actions and system transitions

(a) Societal choices that generate fragmented climate action or inaction and unsustainable development perpetuate business as usual development



(b) Societal choices that support CRD involve transformative actions that drive five systems transitions

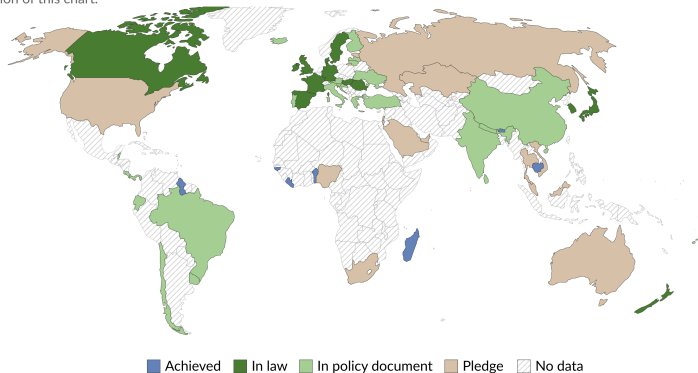


Développement résilient au changement climatique

Status of net-zero carbon emissions targets

The inclusion criteria for net-zero commitments may vary from country to country. For example, the inclusion of international aviation emissions; or the acceptance of carbon offsets.

To see the year for which countries have pledged to achieve net-zero, hover over the country in the interactive version of this chart.



Source: Net Zero Tracker. Energy and Climate Intelligence Unit, Data-Driven EnviroLab, NewClimate Institute, Oxford Net Zero. Last updated: 2nd November 2021.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Seuls quelques pays ont modifié drastiquement leur développement en prenant en compte le changement climatique

Une adaptation résiliente possible mais à réaliser

(a) Human activities that degrade ecosystems also drive global warming and negatively impact nature and people



(b) Human activities that protect, conserve and restore ecosystems contribute to climate resilient development

