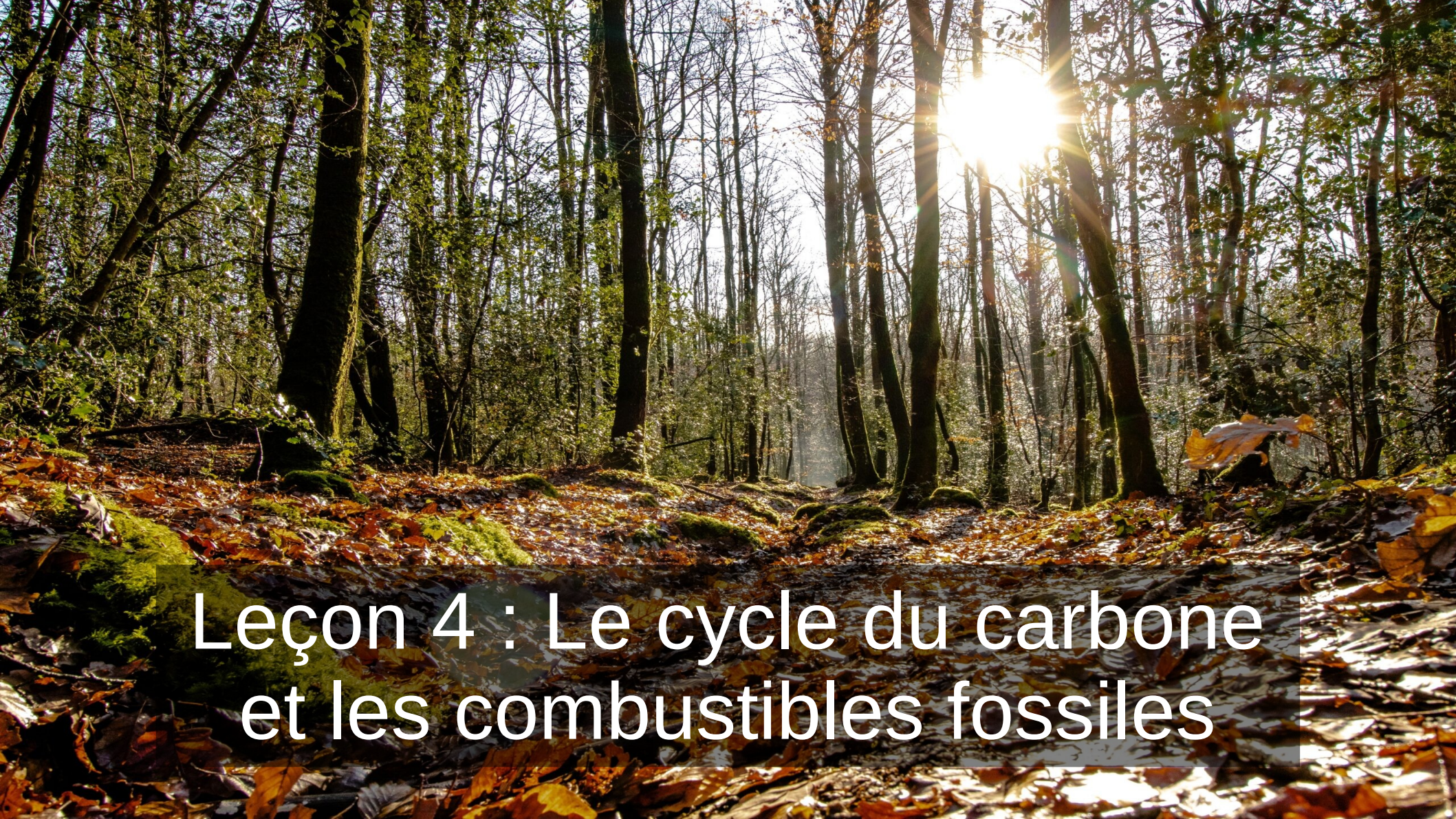


A photograph of a forest floor in autumn. Sunlight filters through the trees, creating a bright glow in the upper right. The ground is covered in fallen brown leaves and moss. A semi-transparent dark box is overlaid at the bottom, containing the title text.

Leçon 4 : Le cycle du carbone et les combustibles fossiles

Les réservoirs de carbone

- Existe sous différentes formes chimiques
- Stock = Q présente. Flux = Q transférée par unité de temps



Calcaire fossilifère : CaCO_3

Photographie : Rookuzz (2008), NASA Earth Observatory

Réservoir	Stock (Gt C)	Formes
Atmosphère	≈ 904	CO_2
Océans	≈ 37 600	HCO_3^- , CO_3^{2-} , $\text{CO}_2(\text{aq})$, carbone organique dissous
Biosphère vivante (hors sol)	≈ 460	Matière organique
Sols (hors pergélisol)	≈ 1 700	Matière organique
Pergélisol	≈ 1 200	Matière organique gelée
Roches sédimentaires	≈ 8×10^7	Carbonates, carbone organique

GIEC (2021) ; NOAA (2026) ; Falkowski et al. (2000)

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/chapter-5/figure-5-12>

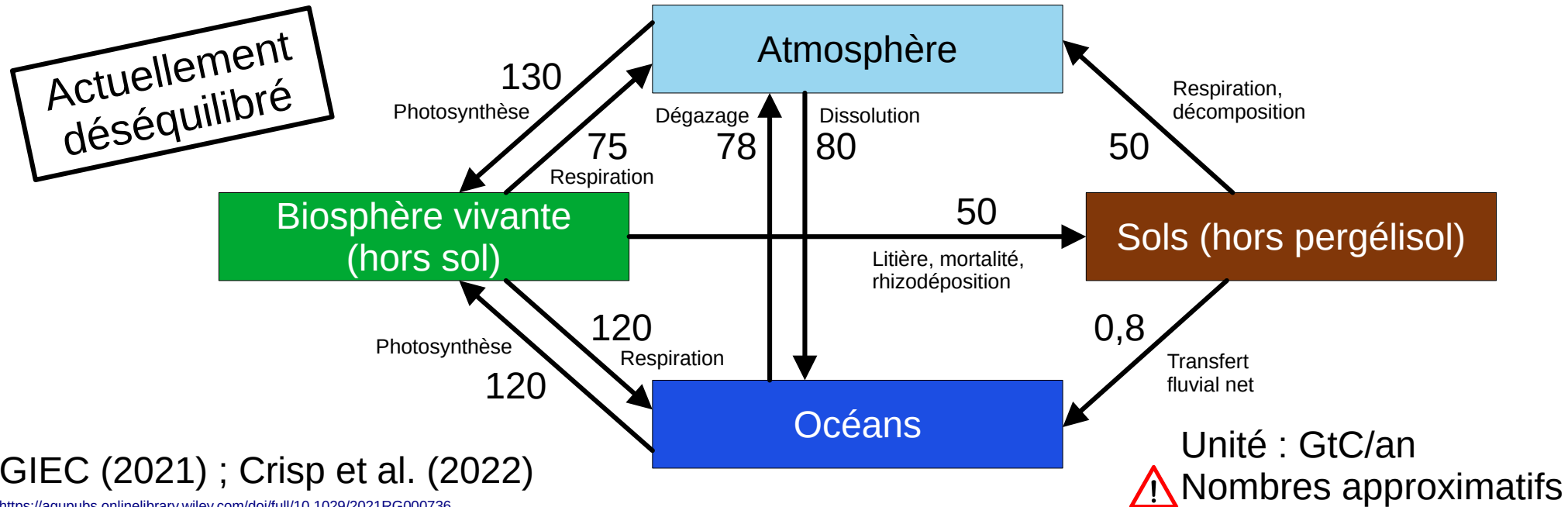
<https://www.gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>

<https://www.jstor.org/stable/3078125>

Modèle

Le cycle court du carbone

- Échanges **rapides** entre atmosphère, biosphère, sols et océans : photosynthèse, respiration, décomposition et échanges air-mer
- Temps caractéristiques** = années, siècles, voire millénaires



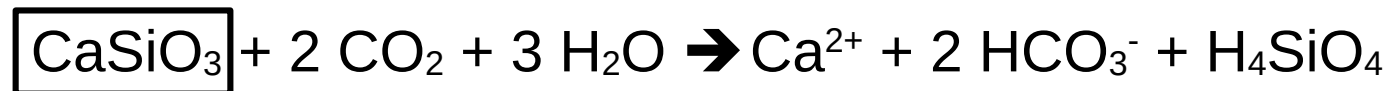
GIEC (2021) ; Crisp et al. (2022)

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021RG000736>

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/chapter-5/figure-5-12>

Le cycle long du carbone

- Altération des silicates, exemple de la wollastonite :



- Puits de carbone** : Altération des silicates et enfouissement des carbonates, enfouissement de matière organique, subduction des sédiments
- Sources de carbone** : Dégazage volcanique, métamorphisme, oxydation du carbone organique des roches sédimentaires

Derry (2024)

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11494303/>

wollastonite



Altération des silicates



Dégazage volcanique

La formation des combustibles fossiles

- Matière organique ancienne transformée, utilisable comme combustible

Charbon



Couche de charbon en Utah

<https://phys.org/news/2024-05-coal-rare-earth-elements.html>

Pétrole et gaz



Diatomées (exemple de phytoplancton)

<https://www.micrographia.com/specbiol/alg/diato/diat0200/diatom05.htm>

Plantes terrestres → tourbe → charbon

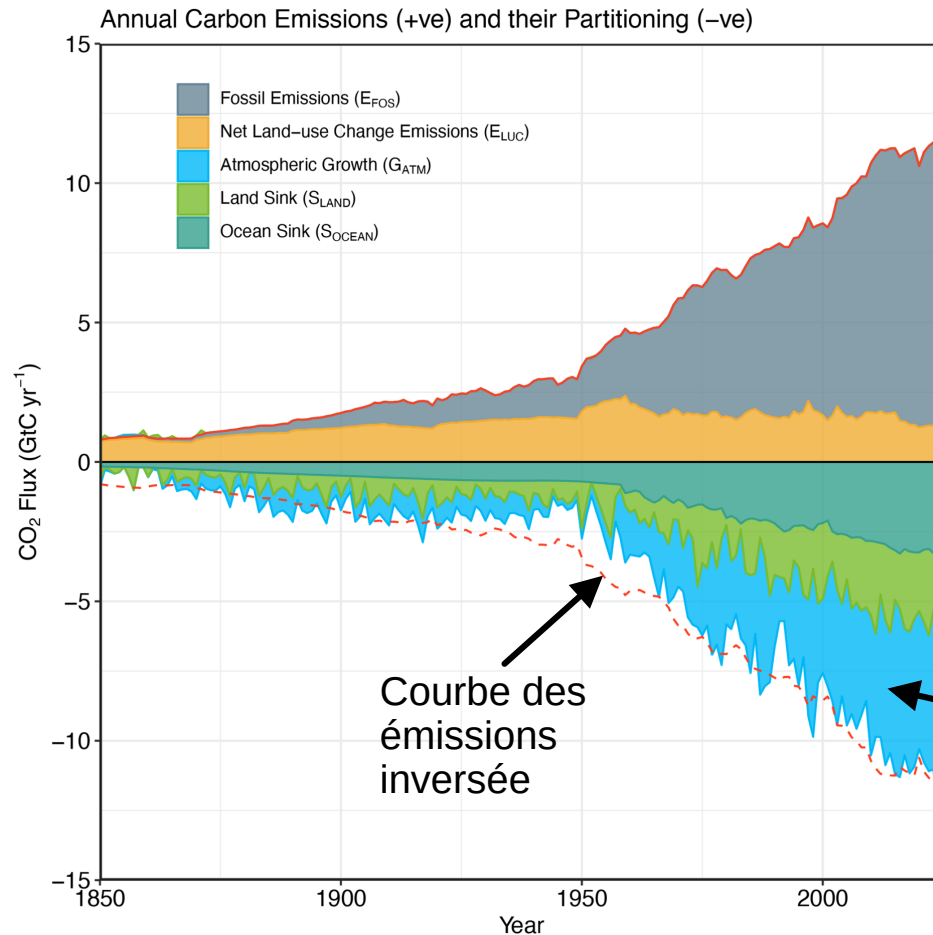
Plancton → kérogène → hydrocarbures

Formation sur des millions d'années : ressources non renouvelables

Vandenbroucke et Largeau (2007)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014663800700006X>

La perturbation anthropique du cycle



Utilisation des combustibles fossiles = transfert de carbone géologique vers l'atmosphère

Émissions

- Fossiles et industrie
- Changements d'usage des terres

Devenir du carbone émis

- Absorption océanique nette
- Absorption continentale nette
- Accumulation atmosphérique

Friedlingstein et al. (2026)

<https://essd.copernicus.org/articles/18/3211/2026/>

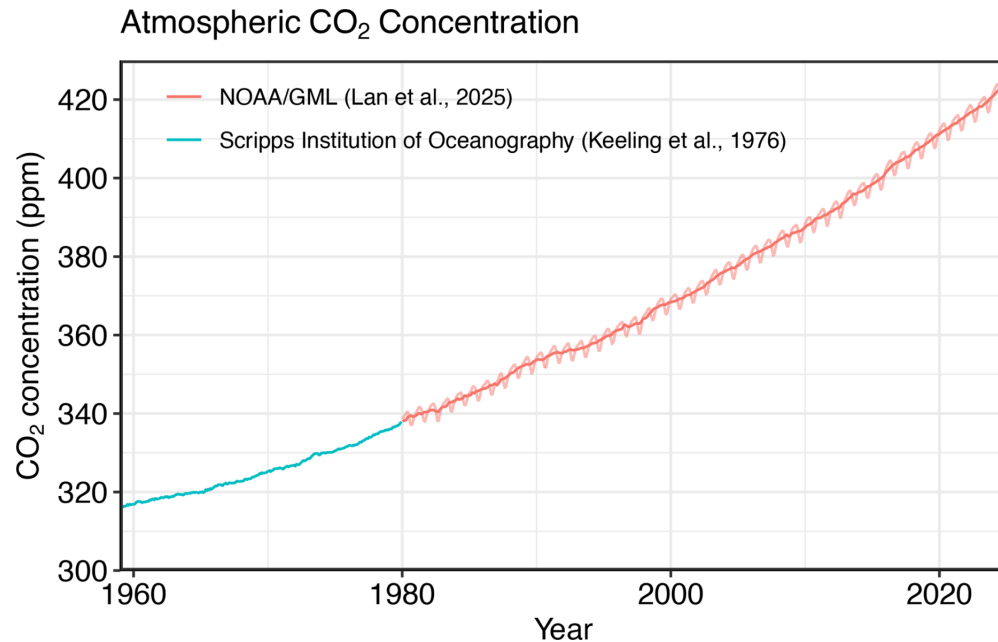
Le bilan du réservoir atmosphérique

- **Variation du stock = (flux entrants – flux sortants) × durée**
- Moyennes 2015-2024, en GtC/an :
 - Émissions : +11,2
 - Puits nets : –5,6

- En un an : **$\Delta\text{stock} = +5,6 \text{ GtC}$**

1 ppm = 2,12 GtC

- Les puits fonctionnent, mais **entrées > sorties**



Friedlingstein et al. (2026)

<https://essd.copernicus.org/articles/18/3211/2026/>