BILAN DU CARBONE DEPUIS 1850

D'où vient le CO_2 ajouté, où il se trouve, pourquoi il y reste, où le remettre

Programme Résilience — note de synthèse, octobre 2026 — complément des notes « CO_2 atmosphérique et températures » V5.1 et « Boucles d'amplification climatique » V1

En bref

Depuis 1850, l'humanité a déplacé environ 750 milliards de tonnes de carbone (GtC) : environ 500 extraits du sous-sol et brûlés, environ 250 perdus par la végétation et les sols (déboisement, mise en culture).

Ce carbone est passé d'un réservoir stable, le sous-sol, à des réservoirs instables : l'air, la surface de l'océan et la végétation. Les terres, prises ensemble, ont perdu du carbone. L'océan absorbe, mais le réchauffement ralentit son accès à ses profondeurs.

Sans retrait, ce qui est dans l'air y restera longtemps. Le retirer durablement, c'est le remettre sous forme géologique ou minérale (sous-sol, roches, biochar).

1. Ce qui a été émis (1850–2024)

Origine	Carbone (GtC)	En CO_2 (Gt)
Combustibles fossiles et ciment	~503	~1 845
Déboisement et usage des sols	~248	~910
Total	~751	~2 750

Source : Global Carbon Budget 2025 (Friedlingstein et al.). En 2025 : ~38 Gt CO_2 fossile et ~4 Gt CO_2 d'usage des sols ; CO_2 atmosphérique ~426 ppm.

2. Où se trouve le carbone : avant / après

Réservoir	Vers 1850 (GtC)	Variation 1850–2024	Aujourd'hui (GtC)
Atmosphère	~605 (285 ppm)	+292	~897 (423 ppm)
Océan (surface, profondeurs, carbone dissous, vivant)	~38 600	+200	~38 800
Végétation + sols (hors permafrost)	~1 950 à 3 050	−75 (+173 absorbés, −248 perdus)	~1 875 à 2 975
Permafrost	~1 400 à 1 700	encore faible	~1 400 à 1 700
Béton (recarbonatation du ciment)	0	+6	~6
Plastiques, bitume, produits durables*	0	+10 à 15	~10 à 15
Non attribué (écart du bilan)	–	+80	–
Gisements fossiles	plusieurs milliers	−503 brûlés, −10 à 15 en produits	–

*Stocks de 1850 : GIEC AR5/AR6 (cycle du carbone). Variations : Global Carbon Budget 2025. * Ordre de grandeur estimé (plastiques produits depuis 1950, bitume), hors bilan officiel.*

Trois constats

- **Les terres ont perdu du carbone au total.** La végétation et les sols ont absorbé ~173 GtC (repousse, effet fertilisant du CO_2) mais en ont perdu ~248 par le déboisement : bilan net ≈ −75 GtC. Les cultures ne compensent pas les forêts : elles stockent quelques tonnes par hectare pendant quelques mois, la forêt en garde des centaines pendant des décennies. Tout le carbone fossile s'est donc retrouvé, en net, dans l'air et dans l'océan.

- **La répartition dépend de la vitesse des échanges, pas de la taille des réservoirs.** L'océan contient ~90 % du carbone mobile mais n'a reçu que ~27 % des émissions ; l'atmosphère, ~1,5 % du stock, en a gardé ~39 %. Seule la couche de surface de l'océan s'équilibre vite avec l'air (environ un an) ; les eaux profondes se renouvellent en plusieurs siècles.
- **Les produits fabriqués ne pèsent presque rien.** Plastiques, bitume et béton retiennent 1 à 2 % du carbone déplacé. La fonte des glaces est elle aussi négligeable pour le carbone (bulles d'air anciennes en quantité infime ; volume d'eau ajouté ~0,005 % de l'océan).

Flux actuels (2015–2024, Global Carbon Budget 2025) : sur ~42 Gt CO_2 émis par an, ~49 % restent dans l'air, ~29 % vont à l'océan (~11,8 Gt CO_2/an), ~21 % vont aux terres (~8,7 Gt CO_2/an ; estimation révisée à la baisse par la nouvelle méthode du bilan 2025).

3. L'océan : le seul grand puits, qui ralentit

Le carbone ne descend pas vers les profondeurs par diffusion, très lente : il est surtout emporté par l'eau de surface qui plonge (Atlantique Nord, pourtour antarctique, eaux des latitudes moyennes), et par le plancton dont les débris coulent. La quantité exportée vaut le débit d'eau qui plonge multiplié par sa teneur en carbone. Le réchauffement de surface affaiblit les deux :

- **La teneur baisse :** une eau plus chaude dissout moins de CO_2 ; pour une même concentration dans l'air, elle en porte moins.
- **Le débit baisse :** une eau plus chaude est plus légère, elle reste en surface (stratification) et plonge moins. Le ralentissement observé de la circulation atlantique (AMOC) en est un exemple.

Tant que le CO_2 de l'air monte, il « pousse » encore le carbone dans l'océan plus fort que la chaleur ne l'en chasse : l'océan absorbe toujours, mais une part décroissante des émissions. Ce qui change avec le monde tel qu'il va :

- **Si les émissions plafonnent sans retrait** (électrification avec un reste de quelques Gt CO_2 par an), l'air cesse de pousser davantage, la chaleur continue d'agir : l'absorption océanique diminue nettement, alors que les terres se dégradent et que le permafrost et les tourbières se vident.
- **Le carbone s'accumule alors dans l'air et dans la mince couche de surface,** pendant que l'accès au stock profond, qui contient presque tout, ralentit. C'est ce mécanisme qui transforme le plateau de l'électrification en remontée dans la note Boucles (environ +18 ppm en 2200, cas central) — une estimation probablement prudente, car la boucle océanique simplifiée n'y représente pas explicitement l'affaiblissement de la circulation profonde.
- **Le dégazage interviendra quand on retirera du CO_2 de l'air :** la surface de l'océan et les terres en rendront une partie pour se rééquilibrer (effet rebond). Pour faire baisser l'atmosphère d'une tonne, il faut en retirer nettement plus d'une.

4. Où remettre le carbone qu'on retire

Ni la végétation, qui se dégrade, ni l'océan, qui ralentit, ne peuvent absorber davantage sans contrepartie. Le seul réservoir à la fois vaste et durable est celui d'où le carbone est sorti : le sous-sol et la forme minérale.

Où	Forme	Durée	Limite
Sous-sol profond (aquifères salins, anciens gisements)	CO_2 injecté à plus de 800 m	> 10 000 ans	Coût, énergie, captage préalable ; capacité très au-delà du besoin
Roches basaltiques (minéralisation)	Carbonates solides	Permanent	Sites adaptés, besoin d'eau

Où	Forme	Durée	Limite
Biochar dans les sols (pyrolyse)	Carbone quasi inerte	Siècles à millénaires	Biomasse disponible, qui diminue avec la chaleur
Altération accélérée, alcalinisation de l'océan	Bicarbonates dans la mer	> 10 000 ans	Encore expérimental, effets écologiques à vérifier
Forêts, sols, bois de construction	Carbone vivant ou bois	Décennies, réversible	Incendies, sécheresses, parasites : ce que les boucles fragilisent

Ordre de grandeur : ramener le CO_2 à 350 ppm demande de retirer au moins ~160 GtC de l'atmosphère (75 ppm × 2,12 GtC/ppm), soit ~590 Gt CO_2 — et nettement plus en pratique à cause de l'effet rebond. À comparer au retrait durable mondial actuel : ~2 Mt CO_2 par an (State of CDR, 2026).

Conclusion

Ce que montrent ces bilans

1. Le carbone fossile a été pris dans un réservoir stable, le sous-sol, et placé dans des réservoirs instables : l'air, la surface de l'océan, la végétation.
2. Les terres, loin d'avoir stocké le surplus, ont perdu du carbone ; l'océan absorbe, mais le réchauffement ralentit son transfert vers les profondeurs.
3. Arrêter les fossiles arrête l'aggravation ; sans retrait, le CO_2 ajouté reste longtemps dans l'air, et les boucles le font remonter.
4. Retirer durablement, c'est remettre le carbone sous forme géologique ou minérale, et en retirer plus que l'excès présent dans l'air pour compenser l'effet rebond.

Limites : les stocks de 1850 sont connus à quelques centaines de GtC près pour les sols ; les variations sont mieux connues car issues des flux mesurés (incertitude ~10 %, écart non attribué ~80 GtC). Les tendances, non les valeurs précises, sont l'objet de cette note.

Sources : Friedlingstein P. et al. (2025), Global Carbon Budget 2025, Earth Syst. Sci. Data ; GIEC (2013, 2021), AR5 et AR6 GT1, chapitres 6 et 5 (cycle du carbone) ; Geyer R. et al. (2017), Science Advances 3, e1700782 ; The State of Carbon Dioxide Removal (2026) ; notes Résilience « CO_2 atmosphérique et températures » V5.1 et « Boucles d'amplification climatique » V1 (resilience2045.fr).