

Trajectoires 1873–2200 — Cinq scénarios comparés — Modèle prospectif V5

Note de synthèse V5 — Programme Résilience V11 — Août 2026

Outil d'aide à la décision sous incertitude - Données observées depuis 1873

■ STATUT DU MODÈLE — À LIRE EN PREMIER

Ce document n'est **pas un modèle climatique prédictif**. Il s'agit d'un **modèle paramétrique prospectif** — un outil d'aide à la décision sous incertitude. Cette démarche part d'un constat simple : la réduction des émissions fossiles est indispensable, mais elle ne suffit pas à elle seule à faire rapidement diminuer le stock de CO₂ déjà présent dans l'atmosphère. La construction simultanée de capacités de retrait durable du CO₂ constitue une seconde composante de l'action climatique, particulièrement importante pour les secteurs difficiles à électrifier ou à décarboner.

Les paramètres — puits naturels, rétroactions, incendies, séquestration active — sont des **hypothèses de scénario explicites**, non des constantes physiques. Les coefficients de rétroaction sont des **paramètres de stress-test** volontairement simplifiés, non des estimations empiriques indépendantes. Le décalage thermique de 30 ans est une **approximation pédagogique** de l'inertie climatique — la réponse réelle est distribuée dans le temps. Les chiffres clés sont des ordres de grandeur à lire comme hypothèses, scénarios ou objectifs.

Les orientations restent robustes même si les paramètres varient significativement : la trajectoire statu quo monte, l'électrification seule ne fait pas redescendre le CO₂ dans les scénarios étudiés, et seule une séquestration durable active peut inverser la tendance. Ce sont des conclusions de structure.

Ce modèle ne conteste pas les scénarios du GIEC. Il examine une question complémentaire que l'AR6 pose lui-même : le CDR est reconnu comme inévitable pour compenser les émissions résiduelles difficiles à éliminer. Le modèle V5 prolonge l'horizon jusqu'en 2200 et intègre un scénario de séquestration active à grande échelle que les SSP ne modélisent pas encore explicitement. L'AR6 reconnaît que certaines rétroactions (incendies, permafrost) sont encore *imparfaitement représentées dans les modèles* — c'est ce que le scénario aggravé teste.

L'objectif n'est pas de prévoir la concentration exacte en 2200. C'est d'identifier les capacités d'action nécessaires pour éviter que le bilan atmosphérique ne devienne durablement défavorable. Un scénario est un test de résistance du système, pas une prédiction. L'enjeu n'est pas de savoir si la valeur sera de 650, 750 ou 850 ppm en 2200 ; c'est de déterminer quelles décisions restent robustes face à l'incertitude — et quel parapluie construire aujourd'hui, sachant que la pluie est déjà là.

Deux problèmes simultanés — deux phases d'action

Phase 1 — Arrêter la montée du CO₂ : réduire les émissions fossiles. Électrifier ce qui peut l'être. Mais même à émissions quasi-nulles, le CO₂ ne redescend pas seul dans les scénarios étudiés — il se stabilise haut. L'AR6 le confirme : dans SSP1-1.9, les terres et l'océan deviennent même une faible source nette vers 2100 lorsque la concentration diminue.

Phase 2 — Faire redescendre la concentration : cela exige des retraits nets et durables dépassant les émissions résiduelles. Le puits naturel net ne doit pas être confondu avec une élimination permanente — les flux naturels relèvent de cycles rapides réémis en quelques décennies.

Le temps n'est pas neutre : une stratégie qui attend la disparition des fossiles avant de déployer les capacités de retrait risque de perdre plusieurs décennies pendant lesquelles le stock atmosphérique continue d'augmenter et les puits naturels de se dégrader.

1. Cinq scénarios — tests de résistance du système

Même logique paramétrique que les SSP du GIEC AR6 — trajectoires conditionnelles à des hypothèses, pas des prédictions. Les chiffres illustrent des différences de nature entre les trajectoires et testent la sensibilité du bilan atmosphérique.

Scénario 1 — Statu quo fossile

Émissions maintenues. CO₂ en hausse continue : ~626 ppm en 2100, ~901 ppm en 2200. Anomalie T° équilibre : +3,5°C en 2100, +5,1°C en 2200.

Scénario 2 — Statu quo + incendies aggravés

Hypothèse de dégradation supplémentaire des puits terrestres : 2,2 Gt/an additionnels à l'horizon 2080 (stress-test, non une prévision). Surplus : +42 ppm à 2200.

Scénario 3 — -50 % fossiles 2050

Réduction progressive. Accumulation ralentie mais toujours positive dans les hypothèses retenues. Stabilisation ~490 ppm en 2200.

Scénario 4 — Électrification max (émissions résiduelles retenues : 2,3 Gt/an)

Secteurs difficiles à électrifier : aviation, poids lourds, industrie HT, agriculture. Le GIEC identifie ces secteurs comme "hard-to-abate". CO₂ ~461 ppm en 2100, ~490 ppm en 2200 — ne redescend pas sans extraction active.

Scénario 5 — Résilience V11 (objectif séquestration 7 Gt/an)

Dans les scénarios comparés ici, seule trajectoire combinant suppression des émissions résiduelles (bio-CH₄) et séquestration active croissante suffisante pour inverser la trajectoire atmosphérique. CO₂ ~398 ppm en 2100, ~308 ppm en 2200. Retour vers 280 ppm vers 2145–2170 (hypothèse déploiement mondial 800 Mha).

2. Puits naturels : flux cycliques ≠ élimination permanente

Les écosystèmes terrestres et océaniques sont traversés par des flux naturels de carbone très supérieurs à leur puits net vis-à-vis des émissions anthropiques. Une grande partie de ces échanges relève de cycles rapides réémis en quelques décennies. **Le puits net observé doit être distingué d'une séquestration durable et irréversible.** L'AR6 le reconnaît : lorsque la concentration atmosphérique diminue, les puits absorbent moins — voire deviennent une faible source nette. C'est l'asymétrie fondamentale du cycle du carbone.

■ CE QU'UN PUIITS NATUREL NET NE FAIT PAS

Flux cycliques rapides : réémis en quelques décennies par respiration, décomposition et dégazage. Ce carbone circule — il ne disparaît pas durablement de l'atmosphère.

Séquestration naturelle durable (hypothèse ~0,4 Gt/an) : fraction millénaire dans l'humus profond et les carbonates marins. Fourchette littérature : 0,2–0,6 Gt/an. Paramètre de scénario, non une estimation indépendante.

Dégradation déjà mesurée (Global Carbon Budget 2025) : –25 % côté terrestre, –7 % côté océanique. 8 % de la hausse du CO₂ depuis 1960 directement imputable.

Incendies 2020–2026 : Canada 2023 (18,4 Mha), Sibérie, Amazonie source nette documentée (Gatti et al., Science 2021). L'AR6 reconnaît que ces rétroactions sont encore imparfaitement représentées dans les modèles — d'où le scénario de stress-test.

■ SÉQUESTRATION DURABLE ACTIVE — COHÉRENTE AVEC L'EXIGENCE CDR DE L'AR6

Biochar EBC (H/C < 0,4, ≥ 700°C) : séquestration millénaire certifiable, non réversible par les incendies. Objectif scénario : 5 Gt/an mondial (2060). Le GIEC cite explicitement le biochar parmi les solutions CDR reconnues.

CO₂ biogénique concentré → géologie : flux pur des 150 sites → injection basaltique ou aquifère salin. Permanence > 10 000 ans. Objectif scénario : 2 Gt/an (2065).

Objectif total 7 Gt/an : capacité à construire pour inverser la trajectoire — cohérent avec l'exigence CDR de l'AR6. Pas une prédiction : un objectif de dimensionnement.

3. Correspondances CO₂ / température d'équilibre

Relation logarithmique : $T^{\circ}\text{éq} = 3,0 \times \log(\text{CO}_2/280)$. Valeurs d'équilibre — les graphiques montrent l'anomalie de température modélisée avec une approximation pédagogique de 30 ans d'inertie thermique, qui sous-estime la température d'équilibre finale.

CO ₂ (ppm)	T° équilibre (ECS=3°C)	Situation / Seuil
280	0,00°C	Préindustriel — objectif retour Résilience
350	+0,97°C	Objectif climatique sûr (Hansen/NASA)
424	+1,80°C éq. (+1,3°C observé)	■ Niveau 2026 · T° équilibre non encore atteinte (inertie)
444	+2,00°C	Seuil Accord de Paris
450	+2,05°C	Légèrement au-delà du seuil +2°C
560	+3,00°C	Doublement préindustriel — seuil critique

CO ₂ (ppm)	T° équilibre (ECS=3°C)	Situation / Seuil
626	+3,48°C	Statu quo — 2100 (hypothèse scénario V5)
490	+2,42°C	Électrification max — 2200 (hypothèse scénario V5)
308	+0,41°C	Résilience V11 — 2200 BASE (objectif déploiement)

Note : les correspondances ci-dessus sont des températures d'équilibre théoriques (ECS médiane AR6 = 3,0°C/doublement). La valeur observée en 2026 (+1,3°C) est inférieure à la T° d'équilibre (+1,80°C) en raison de l'inertie thermique des océans — le réchauffement continuera même si les émissions cessaient aujourd'hui.

4. Trois conclusions de structure — robustes aux variations

Ces résultats tiennent quelle que soit la précision exacte des paramètres, car ils reflètent des différences de nature entre les trajectoires.

1 · RÉDUIRE NE SUFFIT PAS À FAIRE BAISSER

Dans les scénarios étudiés, même à émissions très réduites, le bilan net reste positif. **Électrifier ≠ supprimer les émissions résiduelles des secteurs hard-to-abate ≠ faire baisser le CO₂.** Le GIEC le reconnaît : ces secteurs nécessitent du CDR, pas seulement de l'électrification.

2 · ZÉRO FOSSILE NE SUFFIT PAS NÉCESSAIREMENT À FAIRE REDESCENDRE

Dans les scénarios étudiés, même à zéro émission fossile, si les puits naturels se dégradent, le bilan peut rester quasi-nul. L'AR6 signale cette asymétrie : retirer du CO₂ ne produit pas l'effet symétrique d'en ajouter, car les puits se contractent quand la concentration baisse.

3 · LA SÉQUESTRATION DURABLE ACTIVE EST LA VOIE D'INVERSION

7 Gt/an est l'objectif de dimensionnement — la capacité à construire pour inverser la trajectoire. **Plus le déploiement tarde, plus la Phase 2 coûte cher et prend du temps.** Une tonne de CO₂ retirée aujourd'hui a plus de valeur stratégique que la même tonne retirée plus tard. Le temps n'est pas neutre.

Sources : GIEC AR6 WG1 (2021) — SPM, ch.5 · AR6 WG3 ch.3 (CDR) · Global Carbon Budget 2025, Friedlingstein et al. · ECS = 3,0°C/doublement (médiane AR6, fourchette 2,5–4,0°C) · 1 ppm = 7,8 Gt CO₂ · Programme Résilience V11 (mai 2026) · Carbone Résilience Mobilité Mondiale · NOAA/Mauna Loa · ICOS-France · Météo-France (Paris-Montsouris 1873–2026) · GFED5 · Gatti et al., Science 2021 · CarbFix (Islande) · CRCF UE biochar (3 fév. 2026) · Note OPECST n°48 (Piednoir) · resilience2045.fr