CO_2 ATMOSPHÉRIQUE ET TEMPÉRATURES

Trajectoires 1873–2200 — Cinq scénarios comparés — Modèle prospectif V5.1

Note de synthèse V5.1 — Programme Résilience V11 | Octobre 2026

▶ Message central

Réduire les émissions est indispensable, mais ne suffit pas à faire baisser rapidement le stock de CO_2 déjà présent dans l'atmosphère. Sans retrait actif, le stock ne redescend que très lentement : même à zéro émission fossile dès 2045, il serait encore de ~390 ppm en 2200.

Programme Résilience augmente les sorties nettes de CO_2 en combinant production d'énergie, séquestration par biochar et valorisation d'un flux de CO_2 biogénique déjà concentré. C'est cette combinaison qui constitue son originalité.

Résilience V11 (objectif ~6 Gt/an) : ~380 ppm en 2100, passage sous 350 ppm vers 2160, ~332 ppm en 2200.
Électrification maximale : plateau vers 420 ppm — le niveau actuel — jusqu'en 2200.
Statu quo : ~604 ppm en 2100, ~788 ppm en 2200.

Dans les scénarios étudiés, la séquestration durable active est le seul levier qui ramène le CO_2 nettement sous le niveau actuel.

⚠ 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. La réduction des émissions fossiles est indispensable, mais elle ne suffit pas à elle seule à faire rapidement diminuer le stock de CO_2 déjà présent dans l'atmosphère. La construction simultanée de capacités de retrait durable du CO_2 constitue une seconde composante de l'action climatique, particulièrement importante pour les secteurs difficiles à électrifier ou à décarboner.

Les puits naturels (océans, végétation) y réagissent à l'excès de CO_2 dans l'atmosphère, selon la réponse impulsionnelle de référence du cycle du carbone (Joos et al., 2013), calée sur les concentrations mesurées depuis 1850. Les rétroactions (permafrost, incendies), la séquestration naturelle durable et la séquestration active sont des hypothèses de scénario explicites, non des constantes physiques. Le décalage thermique de 20 ans est une approximation de l'inertie climatique, calibrée pour reproduire l'anomalie observée (~+1,3 °C en 2025) ; la réponse réelle est distribuée dans le temps.

Les orientations restent robustes même si les paramètres varient significativement : la trajectoire statu quo monte, l'électrification seule ne fait pas redescendre le CO_2 sous le niveau actuel, et seule une séquestration durable active peut inverser nettement 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 retrait de CO_2 (CDR) est reconnu comme inévitable pour compenser les émissions résiduelles difficiles à éliminer. Le modèle prolonge l'horizon jusqu'en 2200 et teste une séquestration active à une échelle bien supérieure à celle des trajectoires SSP. L'AR6 reconnaît que certaines rétroactions (incendies, permafrost) sont encore imparfaitement représentées dans les modèles — c'est ce que le scénario aggravé teste.

Un scénario est un test de résistance du système, pas une prédiction. L'enjeu n'est pas de savoir si la valeur sera de 700, 800 ou 900 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 CO_2 : réduire les émissions fossiles, électrifier ce qui peut l'être. Mais même à émissions fossiles nulles, le CO_2 ne redescend que très lentement : l'océan restitue une partie du carbone absorbé à mesure que la concentration baisse. L'AR6 le confirme : dans SSP1-1.9, les terres et l'océan deviennent 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 et les rétroactions. Le puits naturel net ne doit pas être confondu avec une élimination permanente : il stocke le carbone de façon réversible.

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. Le CO_2 atmosphérique : l'indicateur central

Le CO_2 atmosphérique est mesuré en parties par million (ppm). Sa concentration atteint ~429 ppm en 2026 (Mauna Loa), contre 280 ppm à l'ère préindustrielle. Cette augmentation de plus de 50 % est la cause principale du réchauffement observé depuis 1850 (~+1,3 °C). La hausse s'accélère : 0,8 ppm/an dans les années 1960, plus de 3,5 ppm/an en 2024.

La relation CO_2 /température est logarithmique : $T°éq = 3{,}0 \times \log_2 (CO_2 / 280)$. Chaque doublement de la concentration entraîne +3 °C à l'équilibre (sensibilité climatique ECS, médiane GIEC AR6, fourchette 2,5–4,0 °C). La température ne suit pas le CO_2 instantanément : l'inertie thermique des océans introduit un délai. Les graphiques utilisent un décalage de 20 ans, calibré pour reproduire l'anomalie observée en 2025 ; il ne représente pas la totalité du réchauffement d'équilibre à venir.

Correspondances CO_2 / température d'équilibre (ECS = 3 °C ; 280 ppm = 0 °C)

280 ppm → 0 °C préindustriel — objectif de retour Résilience à long terme
332 ppm → +0,74 °C Résilience V11 en 2200
350 ppm → +0,97 °C objectif climatique sûr (Hansen/NASA) — franchi par Résilience vers 2160
380 ppm → +1,32 °C Résilience V11 en 2100
389 ppm → +1,42 °C zéro fossile dès 2045, sans séquestration active, en 2200
421 ppm → +1,76 °C électrification maximale en 2200 (plateau)
429 ppm → +1,85 °C niveau 2026 (+1,3 °C observé — équilibre non encore atteint)
444 ppm → +2,00 °C seuil +2 °C à l'équilibre (Accord de Paris)
537 ppm → +2,82 °C −50 % fossiles en 2200 (toujours en hausse)
560 ppm → +3,00 °C doublement préindustriel — seuil critique
604 ppm → +3,33 °C statu quo en 2100
788 ppm → +4,48 °C statu quo en 2200
808 ppm → +4,59 °C statu quo + incendies aggravés en 2200

Températures d'équilibre théoriques. À concentration constante, le réchauffement continuerait jusqu'à l'équilibre ; un arrêt des émissions le stabiliserait à peu près (AR6), sans le faire baisser. Seule une baisse du CO_2 fait redescendre la température.

⚠ Incertitudes et limites de la modélisation

Les trajectoires sont des projections paramétriques construites dans la logique des SSP de l'AR6, non des modèles de circulation générale. Elles doivent être lues comme des ordres de grandeur, non comme des prévisions ponctuelles. Principales incertitudes :

- Sensibilité climatique ECS : fourchette AR6 = 2,5–4,0 °C/doublement. Ce document utilise 3,0 °C (médiane). Un ECS à 4 °C augmenterait toutes les températures d'environ 33 %.
- Puits naturels : réponse impulsionnelle moyenne multi-modèles (Joos et al., 2013). Elle ne représente pas explicitement l'affaiblissement des puits par le réchauffement (−20 % déjà mesuré, Global Carbon Budget 2025) : c'est l'objet des rétroactions et du scénario « incendies aggravés ».
- Permafrost et rétroactions : estimations AR6 = 50 à 200 Gt CO_2 eq d'ici 2100. Le scénario statu quo cumule ~140 Gt d'ici 2100, modulé par la température.
- Séquestration naturelle durable : ~0,4 Gt/an (fourchette littérature 0,2–0,6 Gt/an) — paramètre de scénario.
- Potentiel Résilience : ~6 Gt/an suppose ~800 Mha de terres marginales et forêts gérées. À 400 Mha (~3 Gt/an), la descente est ralentie : ~393 ppm en 2100, ~361 ppm en 2200. En déploiement complet (~7 Gt/an), le passage sous 350 ppm serait avancé vers 2145.
- Interactions non linéaires entre rétroactions : non modélisées.

2. Les cinq scénarios modélisés

Même logique que les trajectoires SSP de l'AR6 : des trajectoires conditionnelles à des hypothèses, pas des prédictions. Tous les scénarios partent de ~429 ppm en 2026.

Scénario 1 — Statu quo fossile

Émissions maintenues autour de 37–40 Gt CO_2 /an. Le CO_2 monte sans fin : ~489 ppm en 2050, ~604 ppm en 2100 (+3,3 °C à l'équilibre), ~788 ppm en 2200 (+4,5 °C).

Scénario 2 — Statu quo + incendies aggravés

Stress-test de dégradation des puits terrestres : flux additionnel progressif atteignant 2,2 Gt CO_2 /an en 2080 (≈20 % du puits terrestre), non une prévision. Surplus : ~+20 ppm en 2200 (~808 ppm), une partie étant réabsorbée par l'océan. Le même stress-test est appliqué à chacune des autres trajectoires.

Scénario 3 — −50 % fossiles en 2050

Réduction de moitié d'ici 2050, puis lente décrue jusqu'à 12 Gt/an en 2080. La hausse ralentit mais ne s'arrête pas : ~485 ppm en 2100, ~537 ppm en 2200 (+2,8 °C), toujours en hausse.

Scénario 4 — Électrification maximale (émissions résiduelles 2,3 Gt/an)

Tout ce qui est électrifiable l'est d'ici 2045. Restent les secteurs difficiles à électrifier — aviation, poids lourds, industrie haute température, agriculture — que le GIEC qualifie de « hard-to-abate » : ~2,3 Gt CO_2 /an. Le CO_2 plafonne à ~442 ppm vers 2038, puis reste sur un plateau : ~420 ppm en 2100 comme en 2200 (+1,75 °C). Avec des puits dégradés, il remonte lentement (~441 ppm en 2200).

> **⚠ Limite fondamentale de l'électrification seule**
>
> Même dans ce scénario très ambitieux, le CO_2 reste pendant deux siècles au niveau actuel, au-dessus du seuil de 350 ppm.
> Même en supprimant aussi le résidu — zéro fossile dès 2045 —, la baisse reste lente : ~405 ppm en 2100, ~389 ppm en 2200. Avec des puits dégradés, le CO_2 stagne vers 410 ppm.
> C'est la démonstration physique centrale : « pourquoi l'arrêt des fossiles ne suffit pas ».

Scénario 5 — Résilience V11 (objectif de séquestration ~6 Gt/an)

Suppression des émissions résiduelles par le bio-CH_4 (zéro fossile en 2045) et séquestration active croissante : biochar ~4,7 Gt/an en 2060, enrichissement des sols ~0,5 Gt/an, CO_2 biogénique concentré vers la géologie et la carbonatation ~0,7 Gt/an en 2065, soit ~5,9 Gt/an sur ~800 Mha de terres marginales et de forêts gérées dans le monde (note Carbone, Résilience et Mobilité à l'échelle mondiale). Dans les scénarios comparés ici, c'est la seule trajectoire qui ramène le CO_2 nettement sous le niveau actuel : ~380 ppm en 2100, passage sous 350 ppm vers 2160, ~332 ppm en 2200 (+0,7 °C). Avec des puits dégradés : ~353 ppm en 2200. Le retour vers 280 ppm suppose de prolonger l'effort au-delà de 2200.

Pourquoi la descente est progressive : l'océan restitue une partie du CO_2 absorbé à mesure que la concentration baisse. Retirer 6 Gt/an de l'atmosphère ne fait donc pas baisser le stock de 6 Gt/an à long terme — c'est l'asymétrie du cycle du carbone décrite par l'AR6.

3. 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. Le puits net observé (~20 Gt CO_2 /an, terres + océans) doit être distingué d'une séquestration durable : il stocke le carbone de façon réversible, s'affaiblit quand les émissions baissent et peut devenir une faible source nette lorsque la concentration diminue (AR6). C'est l'asymétrie fondamentale du cycle du carbone.

- **Forêts :** l'essentiel du carbone fixé par photosynthèse retourne à l'atmosphère par respiration, décomposition, incendies et perturbations ; seule une faible fraction rejoint l'humus profond ou les sédiments sur des millénaires.
- **Océans :** le CO_2 transféré vers l'océan profond y reste plusieurs siècles, mais une partie dégaze à nouveau lorsque la concentration atmosphérique baisse. La solubilité du CO_2 diminue avec la température. Seule la fraction qui atteint les sédiments (~0,1 Gt/an) est stockée à l'échelle millénaire.
- **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) :** sur 2015–2024, les puits terrestre et océanique sont respectivement 25 % et 7 % plus faibles qu'ils ne l'auraient été sans le changement climatique ; 8 % de la hausse du CO_2 depuis 1960 en découle.
- **Permafrost :** ~1 500 Gt de carbone stockés dans les sols gelés de l'Arctique. Le dégel libère CO_2 et méthane (pouvoir de réchauffement ~80 fois celui du CO_2 sur 20 ans). Cette rétroaction n'est pas contrôlable par les politiques humaines.
- **Incendies :** Canada 2023 (18,4 Mha, ~1,8 Gt CO_2), Sibérie, Amazonie devenue source nette sur certaines zones (Gatti et al., Nature 2021). France 2026 : près de 98 000 ha brûlés fin septembre, record depuis 1976. L'AR6 reconnaît que ces rétroactions sont encore imparfaitement représentées dans les modèles — d'où le scénario de stress-test.

▶ Les rétroactions s'enchaînent : une boucle d'amplification

Ces rétroactions ne s'additionnent pas seulement, elles s'enchaînent. Le recul de la neige et de la glace réduit la réflectivité et assèche les sols ; les sols secs amplifient les canicules ; la végétation stressée absorbe moins, et parfois rejette ; le permafrost et les tourbières libèrent leur carbone, qui renforce le réchauffement initial.

À température stabilisée, ces réservoirs lents continuent de se dégrader pendant des décennies à des siècles : un plateau de CO_2 n'est pas un plateau des dégâts. C'est une raison physique supplémentaire de faire redescendre le stock de CO_2 plutôt que de le stabiliser, et de le faire tôt : la boucle réduit aussi la végétation dont dépend la séquestration par biochar et CO_2 biogénique.

Chiffrées avec le même modèle, ces boucles ajoutent en 2200 ~+7 ppm à la trajectoire Résilience V11, ~+18 ppm à l'électrification maximale et ~+250 ppm au statu quo : plus la température reste haute, plus elles pèsent.

Voir la note « Boucles d'amplification climatique » V1.

✓ **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, ~2,5–3,1 t CO_2 eq par tonne de biochar. Objectif scénario : ~4,7 Gt/an dans le monde en 2060. Le GIEC cite le biochar parmi les solutions CDR (potentiel AR6 : 0,3–6,6 Gt CO_2 /an) — l'objectif se situe dans le haut de cette fourchette.

CO_2 biogénique concentré → géologie : flux pur issu des sites de pyrogazéification, injecté en formation basaltique ou en aquifère salin, ou fixé par carbonatation. Permanence > 10 000 ans en géologie. Objectif scénario : ~0,7 Gt/an en 2065, sur ~1,5 Gt/an de CO_2 biogénique disponible. S'y ajoute l'enrichissement des sols (rhizomes, matière organique, ~0,5 Gt/an), moins permanent.

Objectif total ~6 Gt/an (5,94) : capacité à construire pour inverser la trajectoire. Pas une prédiction : un objectif de dimensionnement.

Le schéma ci-dessous résume cette distinction : les puits naturels font des allers-retours avec l'atmosphère, la séquestration Résilience est un aller simple. C'est pourquoi les ~20 Gt CO_2 /an de puits naturels et les ~6 Gt CO_2 /an de séquestration durable ne se placent pas dans le même panier — et pourquoi la conclusion de structure des scénarios reste valable même si les valeurs précises en ppm comportent des incertitudes.

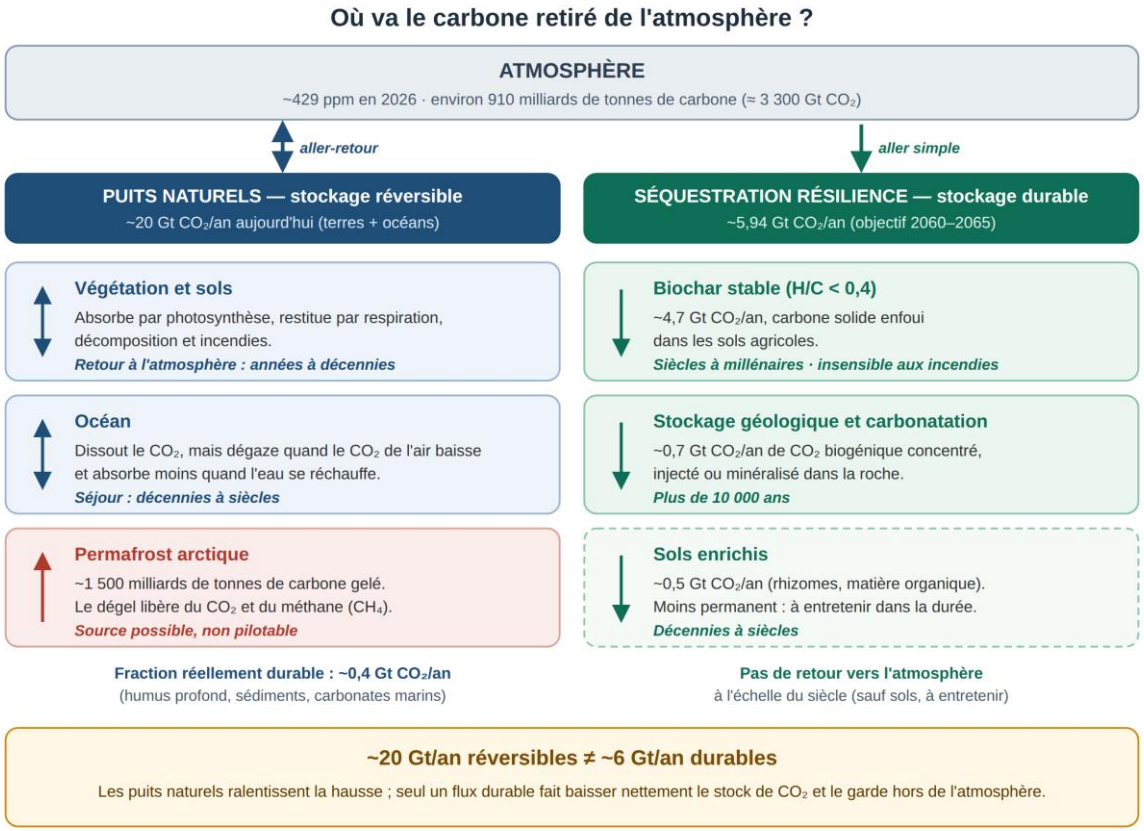


Schéma — Où va le carbone retiré de l'atmosphère ? Puits naturels : stockage réversible (~20 Gt CO_2 /an, terres + océans, dont ~0,4 Gt/an réellement durable). Séquestration Résilience : stockage durable (~5,94 Gt CO_2 /an visés en 2060–2065).

4. Figure 1 — Trajectoires du CO_2 1873–2200

Le graphique présente les concentrations mesurées depuis 1873 (carottes glaciaires puis Mauna Loa) et les cinq scénarios jusqu'en 2200, avec leur variante « incendies aggravés ».

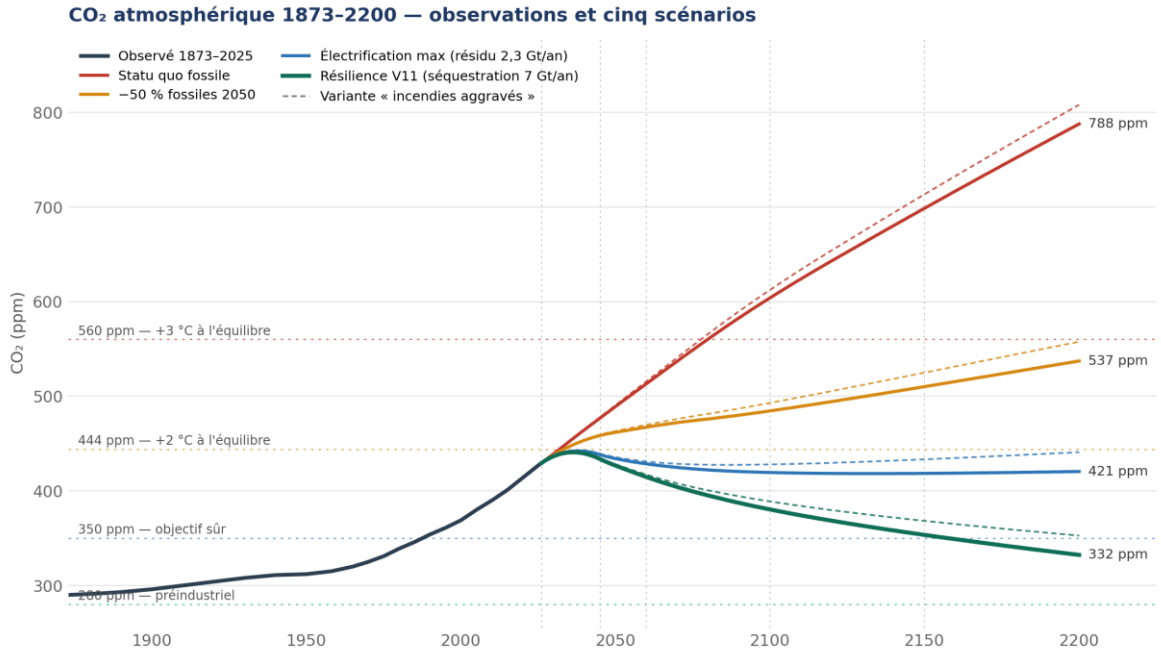


Figure 1 — CO_2 atmosphérique observé 1873–2025 et modélisé 2026–2200 (modèle V5.1 : réponse impulsionnelle Joos et al. 2013 calée sur les observations, rétroactions permafrost, séquestration active). Traits fins pointillés : variante « incendies aggravés ».

✓ Lecture — Figure 1

• Statu quo (rouge) : ~604 ppm en 2100, ~788 ppm en 2200 ; ~808 ppm avec incendies aggravés.
• −50 % fossiles (orange) : ~485 ppm en 2100, ~537 ppm en 2200 — toujours en hausse.
• Électrification maximale (bleu) : pic ~442 ppm vers 2038, puis plateau ~420 ppm jusqu'en 2200.
• Résilience V11 (vert) : ~380 ppm en 2100, sous 350 ppm vers 2160, ~332 ppm en 2200.

Message physique fondamental : l'électrification réduit les entrées, Résilience augmente les sorties. Les deux sont nécessaires — l'électrification seule maintient le CO_2 au niveau actuel, seule la séquestration active le fait redescendre.

5. Figure 2 — Températures modélisées

Température d'équilibre correspondant au CO_2 de l'année décalée de 20 ans. Ce décalage reproduit l'anomalie observée en 2025 (~+1,3 °C).

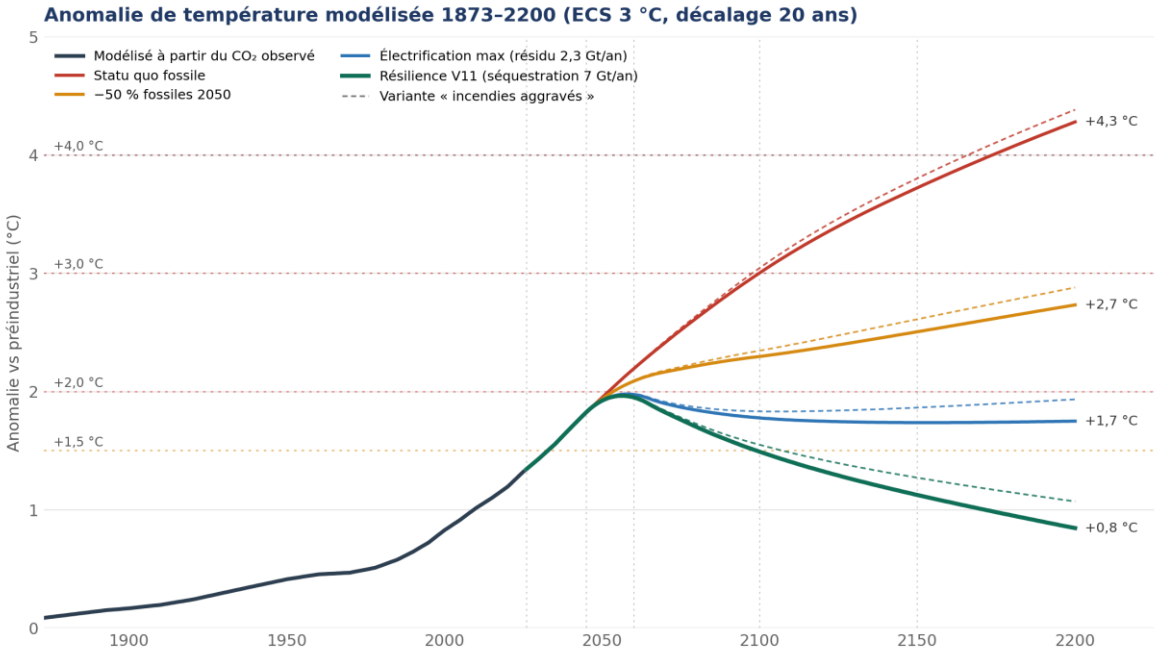


Figure 2 — Anomalie de température modélisée 1873–2200 (ECS = 3,0 °C/doublement, décalage 20 ans). Seuils : +1,5 °C et +2 °C (Accord de Paris).

✓ Lecture — Figure 2

- Statu quo : ~+3,0 °C en 2100, ~+4,3 °C en 2200.
- −50 % fossiles : ~+2,3 °C en 2100, ~+2,7 °C en 2200.
- Électrification maximale : pic ~+2,0 °C vers 2055, puis ~+1,75 °C jusqu'en 2200 — au-dessus de +1,5 °C.
- Résilience V11 : pic ~+2,0 °C vers 2055, sous +1,5 °C vers 2100, ~+0,85 °C en 2200.

Message : le pic de température vers 2055 est commun à toutes les trajectoires ambitieuses — il découle des émissions passées. Seule la trajectoire avec séquestration active redescend ensuite sous +1,5 °C au cours du siècle.

6. L'originalité technique de Programme Résilience

6.1 Le principe physique fondamental

Les trajectoires de référence du GIEC reposent avant tout sur la réduction des émissions — c'est-à-dire la diminution des entrées de CO_2 dans l'atmosphère. Le retrait de CO_2 y figure (boisement, BECCS), mais à des niveaux limités et sans exploiter un flux de CO_2 biogénique déjà concentré associé à la production de biochar.

La physique est simple : le stock atmosphérique de CO_2 ne peut diminuer que si les sorties dépassent les entrées. Programme Résilience agit sur les sorties en combinant trois mécanismes complémentaires : production de biochar (séquestration solide permanente), valorisation du CO_2 biogénique concentré, et substitution des fossiles par du biométhane (réduction des entrées fossiles).

6.2 L'avantage décisif : le CO_2 biogénique concentré

L'argument le plus original de Programme Résilience est souvent sous-estimé. Comparons les trois familles de captage de CO_2 :

- DAC (Direct Air Capture) : l'air contient ~0,043 % de CO_2 . L'essentiel de l'énergie est consacré à trouver quelques molécules dans une immense masse d'air. Coût actuel : 300–1 000 €/t CO_2 .
- Captage sur fumées industrielles (CCS classique) : concentration de 5 à 15 % de CO_2 dans les fumées — meilleure que l'air, mais nécessite une étape de séparation énergivore. Coût : 60–120 €/t CO_2 .
- Programme Résilience : la séparation est déjà réalisée par le procédé de pyrogazéification lui-même. Un flux de CO_2 biogénique concentré est disponible directement, sans captage additionnel. Coût de captage : ~0 €/t CO_2 supplémentaire (hors compression et transport) — c'est un co-produit du processus énergétique.

Résilience est donc compatible avec la quasi-totalité des voies actuelles de stockage ou de valorisation du CO_2 , grâce à ce flux déjà concentré et d'origine biogénique. Chaque site peut exploiter une ou plusieurs voies adaptées à son contexte géologique et économique local :

- Carbonatation minérale : injection dans des formations basaltiques ou calcaires — minéralisation rapide et permanente, sans risque de fuite. Procédé opérationnel (CarbFix, Islande).
- Stockage géologique : injection directe dans aquifères salins ou champs épuisés — bilan carbone négatif garanti car CO_2 d'origine biologique. Pas d'étape de captage additionnelle.
- Méthanation Sabatier : CO_2 biogénique concentré + H_2 (électrolyse ENR ou géologique) → biométhane de synthèse. Stockage saisonnier dans le réseau gazier existant.
- Valorisation en serres maraîchères : injection directe → +20 à +30 % de rendements agricoles. Rentabilité économique immédiate sans séquestration géologique.
- Chimie biosourcée : méthanol, e-fuels, polymères — bilan carbone neutre ou négatif car CO_2 extrait de l'atmosphère par voie biologique.

6.3 La séquestration par biochar

Le biochar co-produit de la pyrogazéification constitue la voie de séquestration solide permanente : durée 500 à 5 000 ans, certifiable selon les standards EBC, reconnue par le règlement CRCF UE (acte délégué adopté le 3 février 2026). Co-bénéfices agronomiques documentés : rétention d'eau +10 à +30 %, réduction des besoins en engrais, amélioration de la structure des sols.

6.4 Complémentarité avec l'électrification

Programme Résilience couvre les usages que l'électrification ne peut pas assurer : mobilité lourde longue distance, aviation, stockage saisonnier de l'énergie, usage agricole et engins de chantier.

L'électrolyse ENR alimente la méthanation Sabatier ; le biométhane assure la flexibilité du réseau électrique. Les deux filières se renforcent mutuellement.

7. Le verrou réglementaire à lever en priorité

Levier d'action direct pour les décideurs politiques

L'Europe reconnaît le biochar comme solution de séquestration certifiable depuis le 3 février 2026
(règlement CRCF UE, acte délégué biochar). La France, par l'article R.446-105, exclut encore
la pyrogazéification de l'éligibilité aux certificats de production de biogaz (CPB).

Ce verrou réglementaire bloque l'équation économique de la filière : sans CPB, le modèle économique des sites de pyrogazéification n'est pas bouclé, et les industriels ne peuvent pas s'engager à l'échelle requise.

Le sénateur S.Piednoir a déposé une question sénatoriale sur ce point en avril 2026.
Une modification de l'article R.446-105 permettrait à la France de devenir le premier pays européen à déployer industriellement cette filière, avec une avance de 5 à 10 ans
sur les autres États membres.

Trois arguments pour les décideurs :

— Souveraineté énergétique : réduction de la dépendance aux importations gazières.
— Leadership climatique : la France dispose des acteurs industriels (Novéa, Charwood, TotalEnergies, GRDF) et de la biomasse nécessaire pour déployer à l'échelle.
— Cohérence réglementaire : aligner le droit français sur le droit européen déjà acquis.

▶ Synthèse pour décideurs

Trois conclusions de structure, robustes aux variations des paramètres :

— 1 · Réduire ne suffit pas à faire baisser. Avec −50 % de fossiles, le CO_2 continue de monter ; avec l'électrification maximale, il reste au niveau actuel (~420 ppm) jusqu'en 2200. La décarbonation est nécessaire mais insuffisante à elle seule.

— 2 · Zéro fossile ne suffit pas à faire redescendre rapidement. Le CO_2 ne retomberait qu'à ~390 ppm en 2200, et stagnerait vers 410 ppm si les puits naturels se dégradent, car l'océan restitue une partie du carbone absorbé quand la concentration baisse.

— 3 · La séquestration durable active est la voie d'inversion. Programme Résilience augmente les sorties nettes via biochar + CO_2 biogénique concentré, valorisable sur plusieurs voies : ~380 ppm en 2100, sous 350 ppm vers 2160, ~332 ppm en 2200. Plus le déploiement tarde, plus la phase de descente est longue et coûteuse : une tonne retirée aujourd'hui a plus de valeur stratégique qu'une tonne retirée plus tard.

L'urgence est de lever le verrou réglementaire R.446-105 et d'engager les industriels capables de porter cette filière à l'échelle nationale, puis mondiale.

Site complet : https://resilience2045.fr

Sources : GIEC AR6 WG1 (2021) — SPM, ch. 5 · AR6 WG3 ch. 3 et 12 (CDR) · Global Carbon Budget 2025 (Friedlingstein et al.) · Joos et al., Atmos. Chem. Phys. 13, 2793 (2013) · NOAA/Mauna Loa · Met Office (prévision CO_2 2026) · ICOS-France · GFED5 · Gatti et al., Nature 2021 · Ministère de l'Intérieur (incendies 2026) · CarbFix (Islande) · Forest Europe · Directive RED III · Règlement CRCF UE (acte délégué biochar, 3 févr. 2026) · Note OPECST n°48 (Piednoir, oct. 2025) · 1 ppm = 7,8 Gt CO_2 .