

PROGRAMME RÉSILIENCE V11

Pourquoi l'arrêt des fossiles ne suffit pas

Le CO₂ atmosphérique excédentaire, les usages résiduels du pétrole, et pourquoi seule une stratégie d'extraction nette peut rétablir un climat acceptable

Note de cadrage stratégique · Version 2 · Juin 2026

0. Pourquoi Résilience existe · Le constat fondateur

Un système complémentaire, pas un système alternatif

Programme Résilience ne s'oppose pas à l'électrification. Il la complète — et il comble précisément ce qu'elle ne peut pas faire.

L'électrification est la bonne réponse pour la mobilité individuelle urbaine, le chauffage des bâtiments bien isolés, et une large part de l'industrie légère. Mais elle bute sur des limites physiques que ni le solaire, ni l'éolien, ni le nucléaire ne résolvent seuls : le stockage saisonnier à grande échelle, la mobilité lourde et longue distance, l'aviation, l'agriculture mécanisée dans les zones sans réseau, et la résilience du système énergétique face aux périodes de faible production ENR (Dunkelflauten).

C'est pour répondre à ces besoins spécifiques — ceux que l'électrique ne peut pas remplir par la physique — que Résilience dimensionne son gisement de biomasse. 262 TWh/an de bio-GNV, produits à partir de résidus et coproduits sans compétition avec l'alimentation. C'est le cœur du programme. C'est ce qui en détermine la taille et la logique territoriale.

Ce que Résilience N'EST PAS

Un système énergétique alternatif global qui remplacerait l'électrification.

Un programme dont la séquestration de CO₂ serait l'objectif premier dimensionnant.

Une proposition de remplacement partiel du système électrique.

Un programme concurrent des matériaux biosourcés ou de l'alimentation.

Ce que Résilience EST

Un système complémentaire qui stabilise l'électrification en couvrant ses lacunes physiques.

Un programme de valorisation des biomasses résiduelles et coproduits aujourd'hui négligés.

Un producteur de bio-GNV pour les usages non électrifiables : mobilité lourde, aviation, agriculture mécanisée.

Un générateur de coproduits structurels (biochar, CO₂ biogénique concentré) qui résolvent des problèmes que personne d'autre ne traite.

La séquestration du carbone : un coproduit structurel extraordinaire

La pyrogazéification produit inévitablement du biochar. La méthanisation et la pyrogazéification concentrent inévitablement du CO₂ biogénique. Ce ne sont pas des objectifs du programme — ce sont des coproduits thermodynamiques de la filière, aussi inévitables que la chaleur fatale.

Or ces coproduits résolvent un problème que personne d'autre ne traite : le stock de CO₂ atmosphérique existant. Arrêter les émissions fossiles ne réduit pas ce stock — il persistera 300 à 1 000 ans. Seule une extraction nette peut le faire descendre. Et le biochar, la carbonatation et le Sabatier sont précisément cette extraction nette — pas par design initial, mais parce que la thermodynamique de la filière les produit en même temps que l'énergie.

C'est la cerise sur le gâteau — mais quelle cerise. Aucun autre système ne propose cette combinaison simultanée : énergie stockable pour les usages non électrifiables + séquestration durable du carbone atmosphérique + valorisation de biomasses négligées. Pas parce que c'était l'objectif de départ — mais parce que c'est ce que la thermodynamique de la filière produit naturellement.

Une précision

Une lecture antérieure de ce document pouvait donner l'impression que la quantité de biomasse mobilisée ici était déterminée par l'ambition de séquestration carbone.

C'est inexact : la biomasse est dimensionnée par les besoins en bio-GNV (énergie pour les usages non électrifiables). La séquestration est le coproduit de cette production — extraordinaire, mais pas le moteur du dimensionnement.

Cette distinction est importante face à une expertise contradictoire : elle protège le programme contre l'accusation de surestimer les gisements pour des raisons spécifiquement climatiques.

Note sur les chiffres mondiaux (potentiel théorique vs mobilisable)

Les ordres de grandeur mondiaux du document Carbone_Resilience_Mobilite_Mondiale (800 Mha, ~46 000 TWh) représentent un potentiel théorique sur terres marginales mondiales.

Le potentiel mobilisable réel est inférieur : rendements hétérogènes (facteur 2 à 5 selon les zones), contraintes logistiques, politiques et hydriques, conflits d'usage locaux.

Ces chiffres mondiaux illustrent l'ordre de grandeur de la solution disponible — ils ne constituent pas le dimensionnement du programme France, qui repose sur des gisements documentés et des filières existantes.

Sur la fuite méthane — exigence non négociable : les installations actuelles atteignent souvent 2–5 % de fuite. Or à 3–4 %, l'effet de serre immédiat du méthane (PRG x80 sur 20 ans) annule une partie significative du bénéfice climatique de la substitution au pétrole et fragilise l'analyse de cycle de vie (ACV) du programme. Le seuil de 1 % est une exigence contractuelle inscrite au cahier des charges de déploiement — capteurs laser en continu, étanchéités de pointe, valorisation systématique de tous les événements. Ce n'est pas un objectif de progrès : c'est une condition de crédibilité ACV sans laquelle Résilience devient attaquable.

1. Le syllogisme que les scénarios officiels évitent

1.1 Prémisse 1 — L'inertie des fossiles est inévitable

Les scénarios officiels (GIEC, AIE, RTE) supposent une décarbonation quasi-complète à l'horizon 2050. Cette hypothèse repose sur une coordination mondiale parfaite et sur des solutions techniques disponibles pour tous les usages. Ni l'une ni l'autre n'est réaliste.

- Aviation longue distance : aucune technologie électrique ou hydrogène n'est viable à l'échelle commerciale avant 2035 au plus tôt. Le bio-GNL (bio-GNV liquéfié) est la seule alternative immédiatement disponible.
- Mobilité lourde dans les pays en développement : pas de réseau électrique suffisant, pas d'infrastructure hydrogène, pas de capital pour le renouvellement du parc.
- Agriculture mécanisée mondiale : les tracteurs diesels représentent 95 % du parc mondial. Le renouvellement complet prend 25 à 40 ans.
- Chauffage en zones rurales isolées : la PAC est une solution urbaine et périurbaine. Les zones sans réseau de chaleur ni gaz restent dépendantes de combustibles liquides ou solides.
- Industrie lourde (acier, ciment, chimie) : la décarbonation est engagée mais les délais sont de 20 à 30 ans même dans les scénarios optimistes.

Conséquence : entre 10 et 30 milliards de tonnes de CO₂ fossile supplémentaires seront émises dans l'atmosphère d'ici 2050, quelles que soient les politiques adoptées aujourd'hui. Ce n'est pas du pessimisme — c'est de l'arithmétique.

1.2 Prémisse 2 — L'arrêt des émissions ne réduit pas le stock

C'est le point que les communications officielles n'expliquent jamais clairement, parce que sa conclusion est inconfortable.

- Le CO₂ atmosphérique n'est pas un flux qui disparaît quand on arrête d'émettre. C'est un stock qui s'accumule depuis 200 ans.
- **Durée de vie atmosphérique** : 50 % du CO₂ émis est absorbé par les puits naturels en quelques décennies. Mais 20 % persiste plus de 1 000 ans. La fraction persistante s'accumule irréversiblement à l'échelle humaine (source : GIEC AR6).
- **Les puits naturels se dégradent** : forêts stressées par la sécheresse (dépérissement, incendies), océans saturés (pH en baisse, capacité d'absorption réduite), permafrost en dégel (méthane et CO₂ libérés). Ces boucles de rétroaction positive s'emballent au fur et à mesure que la température monte.
- **Résultat** : même une réduction de 100 % des émissions fossiles dès demain laisserait le CO₂ atmosphérique à ~400 ppm pendant plusieurs siècles.

Formulation précise : « Zéro émission nette » signifie que le stock cesse de croître. Cela ne signifie pas que le stock redescend. Or c'est la descente du stock qui détermine le rétablissement du climat — pas son plateau.

1.3 Prémisse 3 — 420 ppm est déjà trop

Les effets climatiques qui se produisent aujourd'hui — vagues de chaleur record, sécheresses prolongées, dépérissements forestiers massifs, événements extrêmes — se produisent à 420 ppm. Ce n'est pas la concentration d'un futur redouté, c'est celle du présent subi.

- Le préindustriel stable était à ~280 ppm. Les civilisations humaines se sont développées dans cet intervalle.
- 350 ppm était la limite « sûre » identifiée par Hansen et al. (2008). Nous l'avons dépassée en 1987.
- **Stabiliser à 420 ppm n'est pas un objectif climatique.** C'est la description d'un monde où les effets actuels perdurent pendant des siècles.

1.4 Conclusion du syllogisme

La seule sortie logique

Si (1) les émissions fossiles se poursuivent 15 à 30 ans supplémentaires,

et (2) l'arrêt des émissions ne réduit pas le stock existant,

et (3) le stock actuel est déjà trop élevé pour un climat acceptable,

alors la seule stratégie cohérente est l'extraction nette massive du CO₂ atmosphérique couplée à un stockage durable.

Toute stratégie qui ne prévoit pas cette extraction nette est une stratégie de gestion du déclin, pas une stratégie de rétablissement.

2. Le pétrole résiduel — l'angle mort de tous les scénarios

Les scénarios de transition énergétique supposent implicitement la disparition quasi-totale du pétrole. Cette hypothèse est fautive — et son inexactitude crée des angles morts stratégiques importants.

La réalité : le pétrole sera encore utilisé dans 50 ans. Pas pour la mobilité individuelle, pas pour le chauffage — mais pour des applications dont les propriétés physico-chimiques sont irremplaçables à moyen terme.

Usage résiduel	Pourquoi non remplaçable	Volume estimé	Conséquence stratégique
Bitume (routes, toitures, étanchéité)	Coproduit de raffinage, propriétés viscoélastiques uniques. Aucun substitut bio à l'échelle. Le béton bitumineux représente ~90 % des routes françaises.	~3–4 Mt/an France	Le raffinage minimal continue même à demande fossile réduite. Les routes existent 30–50 ans.
Lubrifiants haute performance	Huiles de base synthétiques, graisses extrême-pression. Les bio-lubrifiants couvrent ~5 % du marché, limités à faibles charges.	~1,5 Mt/an France	Applications militaires, aéronautique, turbines — pas substituables à moyen terme.
Plastiques techniques / composites	Polymères haute performance (PEEK, aramides, fibres de carbone via PAN). Impossible à bio-sourcer à l'échelle actuelle.	~4 Mt/an France	Éolien, aéronautique, médical, électronique — la transition elle-même en a besoin.
Cires, paraffines, asphaltènes	Industries pharmaceutique, cosmétique, alimentaire (emballages). Aucun substitut économique à court terme.	< 0,5 Mt/an France	Volume faible, mais applications critiques (médical, conservation).
Solvants pétro-chimiques spéciaux	Certains solvants aromatiques sans équivalent bio-sourcé pour dissolutions spécifiques (semi-conducteurs, chimie fine).	< 0,3 Mt/an France	Faible volume, haute valeur. Recherche active de substituts — horizon 2040+.

Ce que cela implique pour la stratégie Résilience

Le raffinage pétrolier minimal continuera — ne serait-ce que pour produire le bitume des routes et les lubrifiants techniques. Les raffineries produisent du CO₂ fossile résiduel.

Ce CO₂ fossile résiduel est précisément celui que la séquestration par biochar et carbonatation doit compenser.

Résilience ne suppose pas la disparition totale du pétrole — il intègre ses usages résiduels incompressibles et les compense par extraction nette. C'est une position plus honnête et plus robuste que les scénarios officiels.

3. Le CO₂ biogénique — d'un déchet à un actif systémique

La méthanisation et la pyrogazéification concentrent mécaniquement le CO₂ biogénique. C'est un sous-produit inévitable de la production de biogaz — environ 40 % du biogaz brut est du CO₂. Dans la quasi-totalité des installations actuelles, ce CO₂ est soit rejeté à l'atmosphère, soit torché. C'est une perte sèche d'une ressource stratégique.

Dans le système Résilience, ce CO₂ concentré devient un nœud de distribution à cinq destinations.

Destination du CO ₂ biogénique	Mécanisme	Bénéfice principal	Statut carbone final
Serres agricoles (CO₂ enrichissement)	Injection directe à 800–1 200 ppm	Rendement +20 à +30 % (tomates, concombres, laitues). Chaleur fatale couplée en hiver.	Biogénique court — réabsorbé par la plante suivante
Sabatier (méthane de synthèse)	CO ₂ + H ₂ (électrolyse ENR surplus) → CH ₄ + H ₂ O	Biométhane additionnel stockable réseau gaz. Tampon saisonnier qu'aucune batterie ne peut assurer.	Carbone géologique fossile évité. CO ₂ biogénique recyclé en énergie.
Carbonatation / CaCO₃	CO ₂ + Ca(OH) ₂ ou silicates → carbonates stables	Matériaux de construction bas-carbone, amendement sol, co-produit valorisable. Réaction permanente.	Séquestration minérale durable — siècles à millénaires
Biochar (voie solide)	Pyrogazéification T° ≥ 550°C → carbone aromatique stable	Amendement sol, crédits carbone EBC / Puro.earth, fertilité à long terme.	Séquestration 500–5 000 ans. Sort définitivement du cycle atmosphérique.
Torchage / rejet (situation actuelle)	CO ₂ rejeté à l'atmosphère ou torché	Aucun. Perte sèche de la ressource.	Retour immédiat au stock atmosphérique → aggravation

3.1 Les serres — l'argument alimentaire

La critique la plus fréquente adressée aux cultures énergétiques est la compétition avec l'alimentation. Le CO₂ biogénique en serre inverse cet argument.

- Les plantes photosynthétisent de façon optimale à 800–1 200 ppm de CO₂ — soit deux à trois fois la concentration atmosphérique actuelle.
- Les serres maraîchères qui achètent aujourd'hui du CO₂ industriel (souvent d'origine fossile) peuvent être alimentées par le CO₂ biogénique de la pyrogazéification locale.
- **La chaleur fatale** de la pyrogazéification (refroidissement du syngas, condensation) est utilisable directement pour le chauffage de serre en hiver — deux besoins résolus par une seule installation.
- **Résultat net** : la filière pyrogazéification renforce la production alimentaire au lieu de la concurrencer. Le miscanthus en reconversion agricole ne prend pas la place du blé — il fournit le CO₂ et la chaleur qui font pousser les tomates d'hiver.

3.2 Le Sabatier — le tampon saisonnier

L'un des problèmes non résolus de la transition électrique est le stockage saisonnier. Les batteries lithium peuvent stocker des heures à des jours. Le besoin de stockage entre été et hiver est de l'ordre de plusieurs TWh — soit des milliers de fois la capacité des batteries actuelles.

- **Réaction Sabatier** : $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. En combinant le CO_2 biogénique concentré (disponible en continu) avec l'hydrogène produit par électrolyse lors des surplus ENR (printemps-été), on produit du méthane de synthèse injecté dans le réseau gaz.
- Ce méthane est ensuite consommé en hiver quand les ENR sont insuffisantes — utilisant les 400 000 km de réseau gaz existant comme stockage géographiquement distribué.
- **Avantage clé** : le CO_2 utilisé est biogénique, pas fossile. Le méthane produit n'aggrave pas le bilan carbone global — il substitue du fossile.
- Quantification V11 : l'addition de H_2 externe par Sabatier peut quasiment doubler la production de biométhane de la pyrogazéification (100 TWh \rightarrow ~195 TWh sur le périmètre concerné).

3.3 La carbonatation — le stockage minéral

La carbonatation est probablement la voie de valorisation du CO_2 biogénique la moins connue et pourtant l'une des plus robustes sur le plan de la permanence.

- **Principe** : $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (ou avec des silicates de calcium/magnésium). La réaction est spontanée et exothermique à température ambiante.
- **Produits** : carbonate de calcium (calcaire) ou carbonate de magnésium — minéraux stables sur des échelles de temps géologiques (millions d'années). Le carbone est immobilisé sous forme minérale.
- **Applications immédiates** : matériaux de construction bas-carbone (bétons carbonatés), amendements calcaires agricoles substituant la chaux industrielle, co-produit valorisable des sites de pyrogazéification.
- Intérêt stratégique : la carbonatation ne nécessite pas de compression, pas de transport géologique, pas de puits souterrain. Elle se fait à pression atmosphérique, sur site, avec des équipements simples.
- **Comparaison avec le CCS géologique** : le CCS (captage-stockage géologique) nécessite des infrastructures lourdes, des sites géologiques adaptés (rares en France — pas de diapirs de sel comme en Allemagne), une énergie de compression significative. La carbonatation couplée à la pyrogazéification distribue le stockage sur 150 sites sans aucune de ces contraintes.

3.4 Le biochar — la séquestration permanente

Le biochar est la destination la plus connue du carbone dans le système Résilience, mais il est utile de rappeler pourquoi il constitue une séquestration qualitativement différente des autres.

- **Mécanisme** : la pyrogazéification à $T^\circ \geq 550^\circ\text{C}$ restructure le carbone de la biomasse en carbone aromatique condensé (graphite-like). Ce carbone a un rapport H/C $\leq 0,4$ qui le rend résistant à la minéralisation microbienne.
- Durée de séquestration : 500 à 5 000 ans selon le standard EBC Premium / CDC V3. À titre de comparaison, le CO_2 fossile que le biochar compense a été séquestré pendant ~300 millions d'années — on ne fait pas mieux, mais 5 000 ans est suffisant pour changer le bilan atmosphérique à l'échelle humaine.
- **Double bénéfique sol** : en plus de la séquestration, le biochar améliore la capacité de rétention en eau (+10 à +30 %), la CEC (capacité d'échange cationique), et réduit les besoins en engrais azotés. Il fertilise tout en séquestrant.
- Quantification V11 : ~7,15 Mt de biochar/an \rightarrow ~23 Mt CO_2 séquestrés durablement pour la France seule.

La hiérarchie de valorisation du CO₂ biogénique selon Résilience

Priorité 1 — Sabatier si surplus ENR disponibles localement : maximise l'énergie récupérée.

Priorité 2 — Serres si proximité maraîchère : renforce l'alimentation, valorise la chaleur fatale.

Priorité 3 — Carbonatation si chaux ou silicates disponibles localement : stockage minéral permanent, co-produit valorisable.

Priorité 4 — Rejet atmosphérique contrôlé si aucune des voies précédentes n'est disponible localement.

Le biochar n'est pas dans cette hiérarchie car il est produit en parallèle, non en substitution — c'est la voie solide du carbone, les trois premières sont la voie gazeuse ou minérale.

4. Comparaison des scénarios climatiques

Le tableau suivant compare le scénario dominant (arrêt des fossiles + électrification) au scénario Résilience (extraction nette + bio-GNV + valorisation CO₂ biogénique) sur les critères qui déterminent l'issue climatique réelle.

Critère	Scénario « arrêt des fossiles »	Scénario Résilience (extraction nette)
Objectif	Zéro émission nette → stabiliser à 420 ppm	Extraction nette → redescendre vers 280–300 ppm
Horizon réaliste	2050–2070 selon les scénarios optimistes	Retour < 350 ppm ~2080–2100 ; < 300 ppm ~2145–2170 (modèle Résilience)
Sort du CO₂ atmosphérique existant	Reste en circulation 300–1 000 ans. Effets climatiques persistent.	Extraction active par biochar + carbonatation réduit le stock progressivement.
Pétrole résiduel	Non traité — assume une disparition totale jamais atteinte	Intégré : usages non remplaçables (bitume, plastiques techniques) maintenus. Volume réduit, pas nul.
CO₂ biogénique	Rejeté ou torché (déchet)	Actif circulant : serres, Sabatier, carbonatation, biochar
Alimentation	Non affectée (voire fragilisée par contraintes foncières ENR)	Renforcée : CO ₂ biogénique en serres (+20–30 % rendement), chaleur fatale, biochar fertilisant
Stockage saisonnier	Problème non résolu — dépend de batteries ou H ₂ non économiques	Réseau gaz existant + biométhane Sabatier = stockage saisonnier immédiat
Mobilité lourde / aviation	Électrification partielle + hydrogène (coût, infrastructure)	Bio-GNV + bio-GNL : filière unique qui résout simultanément carburant et carbone
Probabilité d'atteindre l'objectif	Faible à moyen terme — dépend d'une coordination mondiale parfaite	Robuste — chaque site de pyrogazéification contribue indépendamment

4.1 Sur la hiérarchie des usages de la biomasse

Dans le cadre du scénario dominant, la hiérarchie est : alimentation → matériaux → énergie. Cette hiérarchie découle d'une vision où l'énergie est un problème résolu par l'électricité.

Dans le cadre Résilience, la hiérarchie change parce que l'enjeu change :

- **La biomasse résiduelle et les terres abandonnées** ne sont pas en compétition avec l'alimentation. Comparer une terre viticole arrachée sans débouché à une culture de miscanthus pour pyrogazéification n'est pas un arbitrage alimentaire — c'est un arbitrage entre friche et séquestration.
- **Le CO₂ biogénique produit par la filière** renforce l'alimentation (serres) au lieu de la concurrencer. La hiérarchie se réconcilie d'elle-même.
- **Le biochar et la carbonatation** ne consomment pas de terres alimentaires — ils améliorent les sols existants et valorisent un sous-produit gazeux qui serait sinon rejeté.

La vraie hiérarchie Résilience est : extraction nette du CO₂ atmosphérique → énergie stockable
→ alimentation renforcée → matériaux bas-carbone. Ces objectifs ne sont pas en séquence
d'exclusion mutuelle — ils sont coproduits par le même système.

5. Ce que cela change pour le corpus Résilience

5.1 Un argument nouveau pour les interlocuteurs institutionnels

Ce cadrage permet de répondre à une question que S.Piednoir (OPECST), C.Imart (Agriculture) ou un expert ADEME pourrait poser :

Question : « Pourquoi ne pas simplement électrifier et planter des arbres ? »

Réponse Résilience : « Parce que les arbres qui meurent libèrent leur CO₂ en 5 à 50 ans — c'est un cycle neutre, pas une extraction. Et parce que l'électrification ne résout ni l'aviation, ni la mobilité lourde mondiale, ni le stockage saisonnier, ni le CO₂ déjà présent dans l'atmosphère. Résilience est la seule stratégie qui traite simultanément le flux (nouvelles émissions) et le stock (CO₂ excédentaire existant). »

5.2 La distinction flux / stock — clé de lecture du débat

Presque tous les débats climatiques confondent deux problèmes distincts :

- **Le problème de flux :** réduire les émissions annuelles. C'est l'objet de l'électrification, des ENR, de l'efficacité énergétique. Tous les scénarios officiels s'y consacrent.
- **Le problème de stock :** réduire la concentration atmosphérique existante de ~420 ppm vers une valeur acceptable (~280–300 ppm). Aucun scénario officiel ne le traite sérieusement, parce qu'aucune technologie de masse abordable n'existait jusqu'ici.

Programme Résilience est le premier corpus stratégique français qui traite simultanément les deux. C'est sa différence fondamentale — pas une variation des scénarios existants, mais un changement de cadre.

5.3 Formulation pour S.Piednoir / OPECST

Note pour question sénatoriale ou audition OPECST

« Les scénarios de transition énergétique actuels supposent que la résolution du problème climatique passe uniquement par la réduction des émissions. Cette hypothèse ignore deux réalités : premièrement, le CO₂ atmosphérique existant persistera des siècles même si les émissions s'arrêtent demain ; deuxièmement, certains usages pétroliers (bitume, plastiques techniques, lubrifiants haute performance) n'ont pas de substitut à court ou moyen terme. Programme Résilience est la seule stratégie proposée en France qui traite ces deux réalités en produisant une extraction nette du CO₂ atmosphérique via biochar et carbonatation, tout en assurant l'énergie stockable pour les usages que l'électrification ne peut pas couvrir. »

Sources et références

- GIEC AR6 (2021–2023) — durée de vie atmosphérique du CO₂, boucles de rétroaction
- Hansen et al. (2008) — « Target atmospheric CO₂ : Where should humanity aim ? » — seuil 350 ppm
- AIE World Energy Outlook 2024 — projections usages fossiles résiduels
- EBC Premium Standard — European Biochar Certificate — durée séquestration biochar
- CDC V3 — Cahier des Charges Biochar Programme Résilience — seuils H/C, T°, HAP

- ADEME — Biométhane et valorisation CO₂ 2024
- Programme Résilience V11 — Gisement national net V3 · Juin 2026
- Programme Résilience V11 — Carbone_Resilience_Mobilite_Mondiale · Mai 2026
- IFN / ONF / Forest Europe SFM Indicators 2020 — cycle carbone forestier
- Revue IEAGHG — Mineral carbonation technology review 2022

Programme Résilience V11 · Note de cadrage stratégique · Juin 2026 · helion31412.github.io/resilience2045