

# PROGRAMME RÉSILIENCE 2045

Annexe technique — Verrou des goudrons

## ADDENDUM — PARTIE 7

Du démonstrateur à l'unité industrielle 24/7 :  
**Le fossé critique — Acteurs requis — Stratégie Phase 1**

Juin 2026 — Complément à l'Annexe Goudrons V11 (mai 2026)  
*Analyse fondée sur les lauréats GRDF (janvier 2026) et les retours d'expertise terrain*

## Partie 7 — Du démonstrateur à l'unité industrielle 24/7 : le fossé critique

L'Annexe Goudrons V11 a correctement identifié le verrou technique et la stratégie de validation Phase 0. Elle n'aborde pas un second fossé, tout aussi critique : **le passage entre un démonstrateur qui fonctionne quelques heures et une unité industrielle assurant une production continue 24h/24, 330 jours/an, sans interruption**. Ce fossé est de nature différente du verrou technologique — c'est un fossé d'échelle industrielle et de compétence opérationnelle.

### 7.1 Les trois lauréats GRDF — Ce qu'ils sont réellement

**Un constat préalable** : les photos des installations des trois lauréats confirment leur nature de démonstrateurs de taille réduite. Cela n'est pas une critique — c'est leur rôle dans le dispositif GRDF — mais cela définit précisément leur périmètre de compétence.

Lauréat	Localisation	Profil	Capacité actuelle estimée	Apport Phase 0
<b>NOVEA</b>	Gironde	Startup — démonstrateur opérationnel, approche ouverte + partenaire méthanation	Quelques t/j — non publié	Validation brique méthanation + injection « gaz porté » — premier en France opérationnel
<b>Charwood Innovation</b>	Morbihan	PME cotée Euronext Growth — 18 ans biomasse — 9,3 M€ CA 2025 — démonstrateur présenté avril 2026	~22 t/j (contrat Verallia 8 000 t/an)	Chaîne de valeur complète — montée vers débit représentatif industriel — données intégration
<b>Elvéa Energy / LERMAB</b>	Vosges	Fort ancrage académique — Université de Lorraine LERMAB — procédé purification optimisé	Échelle laboratoire / pilote	Tests catalyseur Ni endurance — données XRD — protocole régénération — le plus pertinent sur le verrou chimique
<b>GoBiGas (référence)</b>	Göteborg (Suède)	Engie + Göteborg Energi — équipe de 200+ ingénieurs — budget ~200 M€	~60–70 t/j (32 MW)	Référence mondiale — arrêté 2018 sur désactivation catalyseur — 1/15ème du site cible Résilience
<b>Site cible Résilience</b>	150 bassins FR	À définir — EPC industriel requis	<b>1 000 t/j (460 M€ CAPEX)</b>	<b>x15 GoBiGas — x45 Charwood Verallia — jamais démontré à cette échelle</b>

Tableau A — Comparaison des acteurs existants avec le site cible Résilience. Le saut d'échelle x15 par rapport à GoBiGas est le défi dimensionnant.

**Risque majeur** : Le site cible Résilience (1 000 t/j) n'a jamais été construit ni démontré nulle part dans le monde. GoBiGas (32 MW, ~60–70 t/j) reste la plus grande installation de référence et elle a été arrêtée. Le saut x15 ne peut pas être franchi par les trois lauréats GRDF — il requiert des acteurs d'une autre stature industrielle.

## 7.2 La différence fondamentale : quelques heures vs 330 jours continus

**Ce que fait un démonstrateur** : il valide le principe thermochimique — la conversion de biomasse en syngas à la bonne température, avec un taux de goudrons mesuré sur quelques heures à quelques jours en conditions contrôlées, biomasse sèche et homogène, équipe dédiée, arrêts planifiés fréquents.

**Ce que doit faire une unité industrielle Résilience** : traiter 1 000 tonnes de biomasse PAR JOUR sans interruption, 330 jours/an, avec des biomasses de composition variable (taux de soufre, chlore, humidité fluctuants selon les lots forestiers et agricoles), des températures maintenues entre 750 et 900°C en continu, et un catalyseur Ni qui se désactive progressivement à chaque cycle. Le tout sans jamais dépasser le seuil GRDF de 10 mg/Nm<sup>3</sup> de goudrons, sous peine d'arrêt d'injection.

Paramètre opérationnel	Démonstrateur (lauréats GRDF)	Unité industrielle Résilience 1 000 t/j
Durée de fonctionnement continu	Quelques heures à quelques jours	<b>330 jours/an — 7 920 h/an sans interruption majeure</b>
Biomasse traitée	Homogène, sèche, contrôlée	Variable : rémanents, pailles, ripisylves — soufre et chlore fluctuants
Gestion catalyseur Ni	Arrêt planifié pour régénération — pas de contrainte de production	<b>Régénération ex-situ en continu — réacteurs en parallèle alternant production et régénération</b>
Conséquence d'un dépassement des seuils GRDF	Arrêt d'essai — données disponibles — pas de perte économique	<b>Arrêt d'injection → perte de 130–190 M€/an de revenus biométhane par jour d'arrêt</b>
Empoisonnement soufre (H <sub>2</sub> S)	Mesuré, documenté, catalyseur remplacé après essai	<b>Cycle permanent : détection temps réel + injection épurateur H<sub>2</sub> S + régénération Ni &lt; 500h</b>
Équipe d'exploitation	Chercheurs + techniciens — arrêts fréquents acceptés	Opérateurs 4x8h + ingénieurs procédé 24/7 + astreinte senior
Compétence clé requise	Chimie des goudrons + mesure analytique	<b>Gestion industrielle catalyseur Ni en cycle continu — expertise SMR / pétrochimie</b>

Tableau B — Comparaison des exigences opérationnelles. Les cases en rouge marquent les paramètres pour lesquels les lauréats GRDF n'ont pas d'expérience en conditions industrielles.

## 7.3 La compétence manquante : la gestion du catalyseur Ni en cycle industriel continu

Le verrou opérationnel de la production continue n'est pas le craquage des goudrons en lui-même — c'est la **gestion industrielle du cycle vie/mort/régénération du catalyseur Ni en fonctionnement ininterrompu**. Ce problème est résolu depuis 50 ans dans deux industries uniquement :

Industrie	Procédé analogue	Compétence transférable à Résilience	Acteur français maître
<b>Raffinage pétrolier</b>	FCC (Fluid Catalytic Cracking) — catalyseur zéolithe en cycle continu réaction/régénération toutes 2–10 minutes	Architecture réacteur/régénérateur en parallèle — gestion empoisonnement métaux	TotalEnergies (Gonfreville, Donges, Feyzin)

Industrie	Procédé analogue	Compétence transférable à Résilience	Acteur français maître
		lourds — monitoring continu	
<b>Production d'hydrogène / ammoniac</b>	Steam Methane Reforming (SMR) — catalyseur Ni/alumine — empoisonnement soufre identique au problème Résilience	Cycle de régénération ex-situ standardisé — protocoles COFRAC — monitoring H <sub>2</sub> S en temps réel	TotalEnergies + Air Liquide (production H <sub>2</sub> industrielle)
<b>Pyrogazéification biomasse</b>	GoBiGas (olivine, 32 MW) — technologie validée mais arrêtée sur la désactivation Ni	Données de référence disponibles — problème identifié mais non résolu industriellement	<b>Personne en France à échelle industrielle</b>

Tableau C — Analogies industrielles. Le SMR est le procédé le plus proche du verrou Résilience : même catalyseur Ni, même poison soufre, même problématique de gestion en continu.

■ **Note** : La compétence de gestion du catalyseur Ni en cycle continu existe en France — mais exclusivement chez les opérateurs de SMR (production d'hydrogène) et de FCC (raffinage). Ces procédés ne sont pas exploités par les trois lauréats GRDF, ni par Engie, ni par Air Liquide dans sa configuration actuelle. Elle est concentrée chez TotalEnergies, qui exploite des unités SMR sur ses raffineries françaises.

## 7.4 Pourquoi TotalEnergies + Technip Energies est le seul binôme crédible pour la Phase 1

La question n'est pas de savoir quel acteur est le plus motivé ou le plus vertueux en matière de transition énergétique — c'est de savoir lequel dispose **aujourd'hui en France** des deux compétences simultanément requises pour construire et opérer un site Résilience de 1 000 t/j :

Compétence requise Phase 1	TotalEnergies + Technip	Engie	Air Liquide	Lauréats GRDF
Engineering procédé thermochimique haute température	✓ SMR + FCC opérés	△ GoBiGas arrêté	✗ Séparation gaz	△ Démonstrateur seul
Gestion catalyseur Ni en cycle industriel continu	✓ SMR quotidien	✗ Non maîtrisé	✓ Partiel (H <sub>2</sub> )	✗ Hors portée
EPC projets industriels > 300 M€	✓ Technip Energies	✓ Oui (autres)	✓ Partiel	✗ PME
Exploitation 24/7 site industriel complexe	✓ Raffineries FR	✓ Oui	✓ Oui	✗ Hors portée
Financement 460 M€ par site (propre ou garantie)	✓ Capacité bilan	✓ Oui	✓ Oui	✗ PME
Intérêt stratégique biométhane + biochar + carbone	✓ Fort (neutralité 2050)	△ Modéré	△ Indirect	✓ Cœur de métier
<b>CAPACITÉ GLOBALE PHASE 1</b>	<b>✓✓ Seul binôme complet</b>	<b>△ Partiel</b>	<b>△ Partiel</b>	<b>✗ Phase 0 seulement</b>

Tableau D — Capacité des acteurs pour la Phase 1 industrielle. TotalEnergies + Technip Energies est le seul binôme réunissant l'ensemble des compétences requises en France aujourd'hui.

## 7.5 Schéma industriel recommandé pour la Phase 1

La Phase 1 Résilience nécessite une structure à trois niveaux distincts, avec des rôles clairement séparés :

Niveau	Rôle	Acteur recommandé	Justification
<b>Niveau 1 Technologie &amp; procédé</b>	Architecture cascadée thermique + olivine + Ni · Gestion cycles catalyseur · Optimisation rendement biomasse → syngas	TotalEnergies (expertise SMR) + apport données lauréats GRDF Phase 0	Seul acteur français maîtrisant le cycle Ni en continu — analogie directe avec ses unités SMR de raffinage
<b>Niveau 2 Engineering &amp; construction</b>	EPC complet 460 M€/site · Ingénierie détaillée · Procurement international · Construction 18 mois · Mise en service	Technip Energies (filiale TotalEnergies jusqu'en 2021, partenaire naturel)	Leader mondial EPC projets gaz et pétrochimie — 100+ unités SMR livrées — cadence 10 sites/an possible
<b>Niveau 3 Exploitation locale</b>	Opération 24/7 · Approvisionnement biomasse local · Maintenance de 1er niveau · Relation agriculteurs	Coopératives agricoles + collectivités locales + CUMA — formées par TotalEnergies/Technip	Ancrage territorial · Contrats biomasse 15 ans · Emplois non délocalisables · Modèle coopératif
<b>Rôle lauréats GRDF</b>	Phase 0 uniquement : qualification procédé, données catalyseur, protocoles GRDF	NOVEA + Charwood + Elvéa/LERMAB — rôle de laboratoires de qualification	Leur rôle est essentiel mais limité à la Phase 0 — ils ne sont pas les opérateurs industriels de Phase 1

Tableau E — Schéma industriel recommandé pour la Phase 1 Programme Résilience.

## 7.6 Ce que cela implique pour la stratégie Résilience

- **Le chaînon manquant est identifié** : les documents V11 ne nomment pas explicitement l'acteur industriel de Phase 1. C'est la lacune stratégique principale à combler avant septembre 2026.
- **L'engagement de TotalEnergies est la condition du passage Phase 0 → Phase 1** : sans un acteur maîtrisant le cycle Ni en continu, les données de la Phase 0 resteront au stade académique sans débouché industriel.
- **TotalEnergies a un intérêt économique direct** : le biométhane injecté dans le réseau GRDF s'intègre dans leur portefeuille gaz renouvelable. Le biochar et les crédits carbone CRCF s'inscrivent dans leur trajectoire neutralité carbone 2050. L'IRR 8–15 % est compatible avec leurs critères d'investissement.
- **Le levier politique est Stéphane Piednoir/OPECST** : une commande gouvernementale à TotalEnergies pour une étude de faisabilité Phase 1 sur 2 sites pilotes de 100–200 t/j (taille intermédiaire entre démonstrateurs actuels et cible 1 000 t/j) est le bon point d'entrée.
- **La note à TotalEnergies doit cadrer l'intérêt business, pas le projet Résilience** : l'approche doit présenter le biométhane agricole comme une opportunité de marché, le biochar comme un actif carbone certifiable CRCF, et la Phase 0 comme une due diligence gratuite payée par l'État.

✓ **Conclusion** : L'Annexe Goudrons V11 a raison de classer ce verrou comme « Critique Phase 0 ». Cet addendum ajoute le verrou de Phase 1 : le passage à l'échelle industrielle requiert un acteur de niveau raffinerie, maîtrisant le cycle Ni en continu. TotalEnergies + Technip Energies est le seul binôme disponible en France. Le sensibiliser avant septembre 2026 est une priorité stratégique du même ordre que le déblocage réglementaire de l'article R.446-105.

---

*Addendum rédigé en juin 2026 — à intégrer à l'Annexe technique Programme Résilience V11 « Verrou des Goudrons », mai 2026.*

À l'attention de :

**Monsieur Stéphane Piednoir**

Sénateur de Maine-et-Loire  
Président de l'OPECST (Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques)

---

**Objet :** Programme Résilience 2045 — Le verrou industriel de Phase 1 et la nécessité d'un engagement de TotalEnergies

**Référence :** Question parlementaire OPECST sur la pyrogazéification (avril 2026) — Suivi Programme Résilience V11

Monsieur le Sénateur,

Vous avez bien voulu déposer une question parlementaire sur l'exclusion de la pyrogazéification du certificat de production de biogaz (article R.446-105) en avril 2026. Cette démarche a ouvert un espace politique que le Programme Résilience entend maintenant consolider par une analyse stratégique complémentaire, portant sur le verrou industriel de Phase 1 — distinct du verrou réglementaire que vous avez contribué à identifier.

## I. Où en est la filière pyrogazéification en France — État des lieux juin 2026

En janvier 2026, GRDF a désigné trois lauréats de son appel à projets « Mise aux spécifications et injection du gaz issu de pyrogazéification » : Charwood Innovation (Morbihan), NOVEA (Gironde) et Elvéa Energy / LERMAB (Vosges). Chacun bénéficie d'une aide de 400 000 €. Le premier démonstrateur breton a été présenté en avril 2026.

Ces acteurs sont pertinents pour **qualifier la technologie à petite échelle** — c'est l'objet de la Phase 0 (2027–2029) telle que définie par le Programme Résilience. Mais ils ne peuvent pas être les opérateurs industriels des 150 sites de 1 000 t/j que Résilience projette : leur capacité actuelle est de l'ordre de **20 à 60 t/j** au mieux, contre **1 000 t/j** pour un site cible — un facteur **x15 à x50** jamais démontré nulle part dans le monde.

**⚠ Point critique :** La plus grande installation de référence mondiale — GoBiGas à Göteborg (Engie/Göteborg Energi, 32 MW) — était 15 fois plus petite qu'un site cible Résilience. Elle a été arrêtée en 2018 sur le problème de désactivation du catalyseur en fonctionnement continu. Ce problème n'est pas résolu à l'échelle industrielle en France.

## II. Le verrou industriel — Ce que les trois lauréats ne peuvent pas faire

La différence entre un démonstrateur qui fonctionne quelques heures et une unité produisant 24h/24 pendant 330 jours est fondamentale. Elle tient à un problème très spécifique : la **gestion du catalyseur de nickel (Ni) en fonctionnement continu**. Ce catalyseur se désactive progressivement par empoisonnement au soufre contenu dans la biomasse. En production continue, il faut maintenir des réacteurs en parallèle alternant production et régénération, sans jamais dépasser les seuils GRDF d'injection — faute de quoi le site est à l'arrêt et perd **130 à 190 M€/an de revenus biométhane**.

Cette compétence — la gestion industrielle du cycle catalyseur Ni en continu — n'existe en France que dans deux contextes : le **reformage vapeur du méthane** (Steam Methane Reforming, SMR) dans les raffineries, et le **craquage catalytique** (FCC) dans la pétrochimie. Elle est maîtrisée en France par **TotalEnergies** sur ses sites de Gonfreville, Donges et Feyzin. Aucun autre acteur français ne dispose de cette compétence à l'échelle industrielle.

## III. Le jeu en vaut-il la chandelle ? — Les enjeux économiques

Pour répondre directement à cette question, voici les chiffres consolidés du Programme Résilience V11 pour un site type :

Indicateur — UN site (460 M€ CAPEX)	Valeur centrale	Source / Qualification
Revenus annuels (biométhane + biochar + chaleur + CO <sub>2</sub> )	143–194 M€/an	V11 §4.2 — Phase 2, marché sans soutien CRE
EBITDA annuel par site	115–163 M€/an	V11 §4.2 confirmé ✓
Payback du CAPEX	5–8 ans (prudent) 2,4–3 ans (soutien CRE)	V11 §4.2 ✓
IRR projet sur 20 ans	8–15 %	Attractif pour BEI/CDC (seuil ~8 %) ✓
Valeur nette créée sur 20 ans / site	+1 750 M€	Multiplicateur ×3,8 sur 460 M€ investis ↘
CO <sub>2</sub> séquestré (biochar)	92 000–122 000 tCO <sub>2</sub> /an	V11 §2.2 — certifiable EBC/CRCF ✓
Emplois directs / site	80–120 ETP	Non délocalisables — bassins forestiers et agricoles ↘
<b>PROGRAMME COMPLET — 150 sites</b>		
Revenus totaux à plein régime	~21–29 Md€/an	V11 §4.2 extrapolé ✓
Biométhane injecté GRDF	144 TWh/an	V11 §2.2 sous-total pyrogaz. ✓
CO <sub>2</sub> séquestré (20–23 Mt/an)	20–23 Mt CO <sub>2</sub> /an	Séquestration nette permanente > 100 ans ✓
Emplois non délocalisables	200 000+	V11 — directs + indirects ✓
Économie vs scénario BEV tout-électrique	~250–350 Md€ CAPEX	V11 §3.2 — ordre de grandeur Δ à affiner
Engagement public direct État	10–15 Md€ (Phase 0 + garanties)	Pilotes 2,5–3 Md€ + garanties souveraines 8–12 Md€ ✓

Tableau F — Indicateurs économiques clés du Programme Résilience V11. ✓ = données consolidées · ⚡ = estimations · Δ = ordre de grandeur à affiner par études indépendantes.

✓ **Conclusion** : Pour un engagement public de 10–15 Md€ (Phase 0 pilotes + garanties souveraines), le Programme Résilience génère ~262 Md€ de valeur nette cumulée sur 20 ans (150 sites), 200 000 emplois non délocalisables, 20–23 Mt CO<sub>2</sub> /an de séquestration permanente, et 144 TWh/an de biométhane substituant une fraction significative des 70 Md€ d'importations fossiles annuelles françaises. Le ratio coût public / valeur générée est de l'ordre de 1 pour 18 à 1 pour 26.

## IV. Ce que nous demandons à l'OPECST

Le Programme Résilience ne demande pas une décision budgétaire à ce stade. Il demande **trois actions de nature réglementaire et stratégique** qui relèvent directement du périmètre de l'OPECST :

- **Action 1 — Déblocage réglementaire CPB (urgent, en cours)** : La révision de l'article R.446-105 excluant la pyrogazéification des certificats de production de biogaz est la condition préalable à tout financement privé de Phase 1. Votre question parlementaire d'avril 2026 a ouvert ce débat. Nous demandons qu'elle soit suivie d'une recommandation formelle de l'OPECST à la DGEC pour une modification du décret avant fin 2026.
- **Action 2 — Commande d'une étude de faisabilité Phase 1 à TotalEnergies/Technip** : L'OPECST peut recommander au gouvernement de commander à TotalEnergies et Technip Energies une étude de faisabilité industrielle pour deux sites pilotes de 100–200 t/j (taille intermédiaire entre les démonstrateurs actuels et la cible 1 000 t/j). Budget estimé : 5–10 M€ sur 18 mois. Cette étude fournirait les données manquantes sur le cycle catalyseur Ni à échelle semi-industrielle — le verrou que les 400 000 €/lauréat GRDF ne permettront pas de lever seuls.
- **Action 3 — Inscription du Programme Résilience dans le Plan industriel 2026–2030** : Une recommandation OPECST d'inscription du Programme Résilience comme filière industrielle prioritaire dans le prochain plan de politique industrielle permettrait de mobiliser les instruments BEI, CDC Invest, et BPI France sur les garanties souveraines des 20 premiers sites. C'est la différence entre un programme de R&D et un programme industriel.

■ **Note** : Ces trois demandes sont indépendantes : l'action 1 est urgente et quasi sans coût ; l'action 2 est une étude, pas un engagement d'investissement ; l'action 3 est une recommandation, pas une dépense budgétaire. Ensemble, elles transformeraient le Programme Résilience de scénario technique en programme industriel.

Nous restons à votre disposition pour présenter ces éléments devant l'OPECST ou dans le cadre de rencontres bilatérales avec les cabinets ministériels concernés.

Avec nos respectueuses salutations,

Programme Résilience 2045

[helion31412.github.io/resilience2045](https://helion31412.github.io/resilience2045)

À l'attention de la direction :

## **TotalEnergies SE**

Direction Bas Carbone / Direction de la Stratégie  
La Défense, France

**Objet** : Une opportunité de marché dans la filière biométhane agricole — et pourquoi TotalEnergies est le seul acteur capable de la saisir

Madame, Monsieur,

Nous vous soumettons une analyse portant sur la filière de pyrogazéification de la biomasse lignocellulosique en France — non pas comme un projet de recherche académique, mais comme une **opportunité industrielle dont l'enjeu de marché dépasse 20 Md€/an à horizon 2040**, et pour laquelle TotalEnergies dispose, à notre connaissance, de la seule combinaison de compétences permettant un déploiement industriel à grande échelle en France.

## **I. La situation de marché — Ce qui change en 2026**

Trois éléments convergent en 2026 pour créer une fenêtre d'opportunité inédite dans la filière biométhane agricole et forestier :

- **Le CRCF européen (3 février 2026)** : l'acte délégué Carbon Removal Certification Framework reconnaît officiellement le biochar comme puits de carbone certifiable. Il crée un marché réglementé pour la séquestration carbone par biochar — estimé à 60–150 €/tCO<sub>2</sub> séquestrée. Un site de 1 000 t/j de biomasse produit 25 000 à 33 000 tonnes de biochar/an, soit 75 000 à 100 000 tCO<sub>2</sub> certifiables/an, représentant 5 à 15 M€/an de revenus carbone additionnels par site.
- **L'article R.446-105 en cours de révision** : la question parlementaire OPECST (sénateur Stéphane Piednoir, avril 2026) sur l'exclusion de la pyrogazéification des certificats de production de biogaz ouvre la voie à une modification réglementaire avant fin 2026. Cette modification supprimera le dernier verrou réglementaire bloquant l'injection du biométhane de pyrogazéification dans le réseau GRDF.
- **Trois lauréats GRDF opérationnels (janvier 2026)** : GRDF finance trois projets pilotes de qualification du syngas pour injection réseau. Les premières injections sont attendues en 2027. Ces acteurs vont produire les données de qualification — mais ils ne peuvent pas industrialiser la filière à l'échelle requise.

## **II. L'opportunité de marché — Les chiffres**

Le Programme Résilience 2045, scénario développé indépendamment depuis 2023 et disponible sur [helion31412.github.io/resilience2045](https://helion31412.github.io/resilience2045), a modélisé le potentiel de la filière pyrogazéification en France. Ses principaux indicateurs pour un réseau de **150 sites de 1 000 t/j** :

Indicateur marché	Valeur	Pertinence TotalEnergies
Biométhane injectable GRDF (pyrogazéification seule)	<b>144 TWh/an</b>	Vente directe réseau ou rétrocession contrats long terme — intégration portefeuille gaz vert
Revenus biométhane à plein régime (Phase 2 — prix marché)	<b>~16–19 Md€/an</b>	Contrats 15 ans avec GRDF — visibilité revenus + couverture prix marché gaz
Revenus biochar + crédit carbone CRCF (150 sites)	<b>~2–3 Md€/an</b>	Actif carbone certifiable — intégration portfolio neutralité carbone TotalEnergies 2050
Revenus chaleur fatale valorisable (réseau local / industriel)	<b>~0,7 Md€/an</b>	Contrats chaleur avec industriels locaux — modèle ESCO
CO <sub>2</sub> biogénique capté (potentiel valorisation future)	~40–50 Mt CO <sub>2</sub> /an disponibles	Stock CO <sub>2</sub> biogénique — applicable aux projets DACCS TotalEnergies
<b>TOTAL REVENUS programme complet (Phase 2)</b>	<b>~21–29 Md€/an</b>	Marché capturable par un opérateur maître d'œuvre industriel
CAPEX total 150 sites	69 Md€ (150 × 460 M€)	Payback 5–8 ans — IRR 8–15 % — compatible critères TotalEnergies ventures / projets industriels

Tableau G — Indicateurs de marché du Programme Résilience pour la filière pyrogazéification française. Source : Programme Résilience V11 (mai 2026) — ordres de grandeur, à affiner par étude de faisabilité.

### III. Pourquoi TotalEnergies est l'acteur incontournable

La filière pyrogazéification industrielle à grande échelle a un verrou opérationnel central : la **gestion du catalyseur de nickel (Ni) en fonctionnement continu 24/7**. Ce catalyseur se désactive par empoisonnement au soufre issu de la biomasse, exactement comme dans les unités de **Steam Methane Reforming (SMR)** que TotalEnergies exploite quotidiennement sur ses raffineries de Gonfreville, Donges et Feyzin.

C'est précisément cette analogie qui rend TotalEnergies **structurellement différent** de tous les autres acteurs français :

Compétence clé Phase 1	TotalEnergies + Technip	Autres grands groupes	Lauréats GRDF
Exploitation SMR / cycle catalyseur Ni en continu	✓ Raffineries FR quotidien	✗ Hors cœur de métier	✗ Hors portée
EPC projets industriels 300–500 M€ répétables	✓ Technip Energies (100+ SMR)	△ Engie partiel	✗
Intégration marché carbone CRCF + biométhane	✓ Portfolio gaz + neutralité 2050	△ Variable	△ Partiel
Financement 460 M€/site sans garantie souveraine	✓ Capacité bilan	✓ Engie oui	✗ PME

Compétence clé Phase 1	TotalEnergies + Technip	Autres grands groupes	Lauréats GRDF
Réseau de distribution gaz / contrats GRDF existants	✓ Clients gaz naturel existants	✓ Engie oui	✗

Tableau H — Positionnement de TotalEnergies vs alternatives. Le différenciateur absolu est la compétence SMR / cycle catalyseur Ni — non répliquable à court terme.

## IV. Ce que nous proposons

Nous ne sollicitons pas un engagement d'investissement à ce stade. Nous proposons une **étude de faisabilité industrielle conjointe** portant sur deux sites pilotes de 100–200 t/j — taille intermédiaire entre les démonstrateurs existants (~20 t/j) et la cible industrielle (1 000 t/j). Budget estimé : **5–10 M€ sur 18 mois**, co-financé par les programmes France 2030 ou ADEME, avec TotalEnergies comme maître d'œuvre technique et Technip Energies comme responsable EPC.

Cette étude fournirait trois livrables essentiels pour TotalEnergies :

- **Données réelles sur le cycle catalyseur Ni à échelle semi-industrielle** (200 t/j) — transférables immédiatement aux optimisations SMR des raffineries.
- **Business plan validé pour un déploiement 150 sites** sur la période 2029–2040 — base d'une décision d'investissement en Phase 1.
- **Positionnement first-mover sur un marché de 21–29 Md€/an** en France, répliquable en Allemagne, en Espagne et en Pologne sur des flux de biomasse analogues.

■ **Note** : Les données de qualification des trois lauréats GRDF (Phase 0, 2027–2029) seront disponibles et accessibles — elles constituent une due diligence technique gratuite dont TotalEnergies peut bénéficier pour calibrer son engagement en Phase 1. L'entrée optimale est en 2028–2029, après validation des seuils GRDF, avant la décision d'accélération Phase 1.

Le Programme Résilience est disponible en intégralité sur [helion31412.github.io/resilience2045](https://helion31412.github.io/resilience2045). Nous sommes disponibles pour une présentation technique détaillée à votre direction bas carbone ou à votre direction stratégie.

Avec nos respectueux salutations,

Programme Résilience 2045

[helion31412.github.io/resilience2045](https://helion31412.github.io/resilience2045)

Document confidentiel — ne pas diffuser sans autorisation — Juin 2026