

Pyrogazéification et éligibilité aux certificats de production de biogaz

Éléments techniques et économiques en réponse aux critères de performance énoncés par le Gouvernement (réponse ministérielle du 11 juin 2026, JO Sénat, question n°08518)

Objet de la note

La réponse ministérielle du 11 juin 2026 indique que le Gouvernement est prêt à ouvrir le dispositif des certificats de production de biogaz (CPB) à la pyrogazéification, sous réserve que trois critères de performance soient satisfaits : la nature et la proportion des intrants, l'absence de consommation d'énergie fossile, et le rendement énergétique des procédés.

Cette note ne demande pas un traitement de faveur : elle démontre, critère par critère, que la filière satisfait déjà les conditions posées par le Gouvernement, et apporte deux éléments complémentaires — la maturité industrielle du type de procédé concerné, et le potentiel de séquestration carbone du biochar — qui renforcent la solidité du dossier.

Synthèse en un coup d'œil

Critère annoncé par le Gouvernement	Réponse du Programme Résilience
Nature des intrants	Biomasse lignocellulosique sèche, non concurrente de la méthanisation
Proportion des intrants	Gisement dédié (rémanents forestiers, bois en fin de vie, CSR)
Absence d'énergie fossile	Procédé autothermique, recyclage interne du char et de la vapeur
Rendement énergétique	75 à 80 % (CH ₄ + chaleur valorisée)
Maturité industrielle	Démonstrateurs européens validés + brique catalytique éprouvée dans l'industrie pétrochimique à bien plus grande échelle

1. Performance énergétique et nature des intrants

1.1 Rendements du procédé

Le procédé de référence du Programme Résilience repose sur un gazéifieur à lit fluidisé circulant (CFB) allothermique à vapeur, couplé à une méthanation catalytique (réaction de Sabatier), sur un site de référence traitant 1 000 t de matière sèche par jour.

Indicateur	Valeur Résilience	Référence / validation
Rendement de gazéification (syngaz/biomasse)	82 % ± 3 %	Güssing (Autriche), GoBiGas (Suède), Valmet (Finlande)
Rendement chimique global (bio-CH ₄ /biomasse)	58,5 % ± 2 %	Calcul intégrant pertes d'épuration et rendement Sabatier
Rendement énergétique total (CH ₄ + chaleur valorisée)	75 – 80 %	Avec cogénération et valorisation chaleur fatale

Ces références montrent que chacune des principales briques technologiques a déjà été démontrée en conditions industrielles, même si leur intégration à très grande capacité reste l'objet de la phase actuelle de montée en échelle.

1.2 Absence de consommation d'énergie fossile

Le procédé est conçu pour être autothermique : l'apport thermique nécessaire à la pyrolyse et à la gazéification est fourni par la combustion partielle interne d'une fraction du char produit (recyclage d'environ 30 % du char vers le gazéifieur), sans recours à un combustible fossile d'appoint. Cinq boucles internes de recyclage renforcent cette autonomie : chaleur vers le séchage de la biomasse entrante, vapeur produite réinjectée comme agent gazéifiant, CO₂ séparé recyclé vers la réaction de Sabatier ou la gazéification, chaleur du réacteur Sabatier valorisée en préchauffage, et retour des cendres minérales (potassium, phosphore) vers les sols agricoles.

1.3 Nature et proportion des intrants — absence de conflit d'usage

Le gisement mobilisé par la pyrogazéification est distinct de celui de la méthanisation : biomasse lignocellulosique sèche (matière sèche ≥ 85 %) — rémanents forestiers, bois en fin de vie, résidus agricoles ligneux, combustibles solides de récupération. Ce gisement n'entre pas en compétition avec les intrants agricoles humides mobilisés par la méthanisation, ni avec les usages alimentaires, ce qui répond directement à la réserve formulée par le Gouvernement sur l'absence de conflit d'usage avec des ressources déjà mobilisées par d'autres filières.

2. Maturité industrielle : une brique technologique éprouvée à bien plus grande échelle

La réponse ministérielle évoque à plusieurs reprises la maturité industrielle comme condition de l'ouverture du dispositif CPB. Ce point mérite d'être développé, car il est souvent mal apprécié : la pyrogazéification n'est pas une technologie de laboratoire, et le cœur du procédé — la conversion catalytique d'un gaz de synthèse en présence d'un catalyseur au nickel, à haute température — est une opération couramment pratiquée dans l'industrie pétrochimique, à une échelle bien supérieure à celle visée par le Programme Résilience.

2.1 Les démonstrateurs français en cours

Plusieurs démonstrateurs ont validé les briques technologiques du procédé (gazéification à vapeur, épuration des goudrons, méthanation catalytique, injection réseau). En France, trois projets ont été retenus en janvier 2026 par GRDF dans le cadre d'un appel à projets dédié, avec des premières injections de biométhane attendues dès 2027 : Charwood Innovation (Morbihan, environ 22 t/j), NOVEA (Gironde) et Elvéa Energy en lien avec le laboratoire LERMAB de l'Université de Lorraine (Vosges). Ces installations confirment l'entrée de la filière dans une phase de déploiement industriel, mais opèrent à une échelle de l'ordre de la dizaine de tonnes par jour — très en deçà des 1 000 t/j visées à terme par le Programme Résilience.

2.2 Le saut d'échelle : un défi de génie des procédés, pas d'inconnu technologique

L'un des principaux défis techniques souvent cités pour la pyrogazéification — la désactivation du catalyseur au nickel en fonctionnement continu — n'est pas une incertitude scientifique mais un défi d'ingénierie déjà rencontré et largement maîtrisé dans d'autres secteurs industriels. Le vaporeformage du méthane (Steam Methane Reforming, SMR), procédé qui produit aujourd'hui la majorité de l'hydrogène industriel mondial pour les raffineries et la production d'ammoniac, met en œuvre plusieurs briques technologiques communes : catalyseur au nickel, températures de 800 à 950 °C, gestion du dépôt de carbone (coke) sur le catalyseur, réacteur de conversion en aval pour optimiser le rendement. Ces unités fonctionnent en routine à des capacités de plusieurs dizaines à plus de cent mille normo-mètres cubes par jour — un ordre de grandeur très supérieur à la cible de 1 000 t/j de biomasse de Résilience. Le syngaz issu de biomasse présente certes

des contraintes spécifiques que le gaz naturel ne pose pratiquement pas — goudrons, composés alcalins, chlore, soufre — mais les mécanismes de désactivation du catalyseur au nickel sont bien connus et largement maîtrisés dans ces secteurs ; leur transposition à la pyrogazéification constitue un défi d'ingénierie davantage qu'une incertitude scientifique.

Ce que cela signifie concrètement : le défi industriel de la pyrogazéification à grande échelle n'est pas la maîtrise d'un procédé inconnu, mais l'adaptation d'un savoir-faire de génie chimique déjà maîtrisé dans le raffinage et la pétrochimie à un nouvel intrant — la biomasse plutôt que le gaz naturel. Les acteurs disposant de cette expertise (gestion de catalyseurs au nickel en cycle continu, ingénierie et construction d'unités de plusieurs centaines de millions d'euros, exploitation de sites de cette complexité) existent déjà en France dans le secteur pétrolier et parapétrolier, et constituent le partenariat industriel naturel pour porter le passage à l'échelle après la phase de démonstration actuelle.

3. Viabilité économique : un modèle multi-produits

Au-delà des seuls critères de performance énergétique, la crédibilité d'une filière naissante auprès de l'administration repose aussi sur la solidité de son modèle économique. Le procédé de pyrogazéification se distingue par la valorisation simultanée de plusieurs produits, ce qui réduit la dépendance du modèle au seul prix du biométhane.

Produit valorisé	Volume journalier (site 1 000 t/j)	Marché	Contribution économique
Bio-CH ₄ injecté réseau	9 600 – 10 200 MWh/j	Réseau GRTgaz/GRDF, GNV/GNL	Recette principale, vente de gaz
Biochar (classes I et II)	56 – 84 t/j	Amendement agricole, filtration	Vente de produit + crédits carbone (CRCF)
CO ₂ biogénique concentré	120 – 180 t/j	Serres, agro-alimentaire, industrie	Vente industrielle directe
Chaleur fatale récupérée	1 560 – 2 400 MWh/j	Réseau de chaleur urbain, séchage biomasse	Recette ou économie interne
Cendres minérales (K, P, Ca)	15 – 25 t/j	Retour agricole	Économie d'engrais, recette marginale

Contrairement à une filière reposant sur un produit unique, la pyrogazéification répartit son risque économique entre plusieurs marchés — gaz, chaleur, biochar, CO₂ biogénique et minéraux — ce qui améliore sa résilience économique et réduit son exposition aux fluctuations des prix de l'énergie.

4. Un atout différenciant : la séquestration carbone par le biochar

Point clé non couvert par les critères actuels

Les critères de performance énoncés par le Gouvernement (intrants, fossile, rendement) ne mentionnent pas la dimension de séquestration carbone, alors qu'elle constitue la différence structurelle la plus significative entre la pyrogazéification et la méthanisation classique.

4.1 Un double service climatique

La pyrogazéification produit simultanément un gaz renouvelable et retire du carbone de l'atmosphère — une combinaison qu'aucune autre filière de production de biométhane ne réalise. La méthanisation, comme la combustion de biomasse, restitue à l'atmosphère le carbone que la plante avait capté par photosynthèse : le bilan est neutre. La pyrogazéification, en orientant une fraction du carbone de la biomasse vers le biochar plutôt que vers le gaz, intercepte une partie de ce carbone avant sa décomposition naturelle et le stabilise sous une forme physiquement et chimiquement résistante. Le bilan devient net-négatif. Cette double fonction distingue la pyrogazéification non seulement des autres filières de biométhane, mais également de la plupart des procédés de valorisation énergétique de la biomasse, qui réduisent les émissions sans générer de retrait net de carbone atmosphérique.

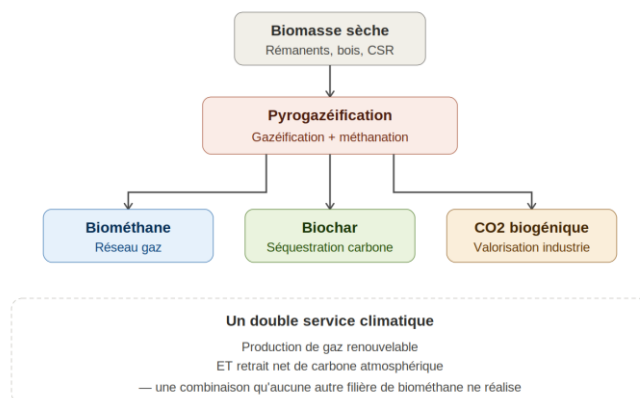


Schéma de principe : un intrant, trois flux valorisés, dont un retrait net de carbone atmosphérique.

4.2 Permanence de la séquestration

Voie de fin de vie du carbone	Durée de séquestration	Statut
Décomposition naturelle (bois mort, litière)	Quelques années à quelques décennies	Carbone-neutre (retour à l'atmosphère)
Combustion directe (bois énergie)	Immédiate	Carbone-neutre (restitution immédiate)
Biochar en sol agricole	100 à plus de 1 000 ans selon conditions	Carbone-négatif (séquestration longue durée)

4.3 Ordres de grandeur — Programme Résilience à l'échelle nationale

Paramètre	Valeur
Biochar produit par site de référence (1 000 t/j)	56 – 84 t/j
Ratio de séquestration (standard EBC/Puro.earth)	2,5 – 3,1 t CO ₂ éq par tonne de biochar
Séquestration carbone associée par site	140 – 260 t CO ₂ éq/j
Biochar national (150 sites à terme)	3,1 – 4,6 Mt/an
CO ₂ séquestré au niveau national	7,7 – 14,3 Mt CO ₂ /an
Reconnaissance réglementaire européenne	Cadre CRCF (Carbon Removal Certification Framework), acte délégué du 3 février 2026

Cette capacité de retrait net de carbone atmosphérique va au-delà de la seule décarbonation du mix gazier : elle positionne la filière comme un outil de politique climatique à part entière, mobilisable au titre des

engagements français de neutralité carbone et, au-delà, de trajectoire vers des émissions nettes négatives requise par les scénarios du GIEC pour la seconde moitié du siècle.

5. Une application du principe de neutralité technologique, non une exception

L'intégration de la pyrogazéification au dispositif CPB ne constituerait pas une dérogation au principe de neutralité technologique invoqué par le Gouvernement. Elle en serait au contraire l'application directe, dès lors que les critères de performance fixés par le Gouvernement sont objectivement satisfaits.

6. Synthèse et conclusion

En résumé, la pyrogazéification répond aux trois critères explicitement mentionnés dans la réponse ministérielle du 11 juin 2026 :

- elle mobilise un gisement de biomasse distinct de celui de la méthanisation ;
- elle peut fonctionner sans consommation d'énergie fossile grâce à un procédé autothermique ;
- elle atteint des rendements énergétiques compatibles avec les exigences d'un mécanisme de marché.

Sa brique technologique centrale — la conversion catalytique d'un gaz de synthèse — est par ailleurs déjà éprouvée à grande échelle dans l'industrie pétrochimique, ce qui distingue le défi du passage à l'échelle d'un saut dans l'inconnu technologique. Elle présente en outre un avantage environnemental supplémentaire grâce à la séquestration durable du carbone dans le biochar, reconnue par le cadre européen CRCF.

Dans ces conditions, son intégration au dispositif des certificats de production de biogaz apparaît conforme au principe de neutralité technologique retenu par le Gouvernement, sous réserve, comme pour toute filière, du respect des critères réglementaires qui seront arrêtés.

Le Programme Résilience 2045 se tient à la disposition de Monsieur le Sénateur et de ses équipes pour tout élément complémentaire utile à l'instruction de ce dossier, notamment dans le cadre d'échanges avec la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) sur la définition des critères de performance applicables.

Programme Résilience 2045 — Note technique
helion31412.github.io/resilience2045