

NOTE COOPERATION FRANCE-ESPAGNE ET BIOMASSE INTERNATIONALE

Stratégie de coopération énergétique · Biomasse internationale terres marginales · Coalition EU bio-CH₄

Mai 2026 - Document stratégique Programme Résilience V11

NOTE METHODOLOGIQUE V11 - Ce document complète le dossier Souveraineté Énergétique V11 sur la dimension internationale de la biomasse. AJOUT V11 : Section 'Potentiel Biomasse International' issue de l'analyse systémique Mistral. Qualification stricte appliquée : les chiffres globaux (150-250 Mha, 1 500-3 000 TWh/an) sont des ordres de grandeur TRES PROSPECTIFS et NON VERIFIES. Ils illustrent l'ampleur théorique mais ne constituent pas une base de politique énergétique. Une étude indépendante (IRENA/FAO) est prérequis avant usage institutionnel. [Toujours indiquer [pointe tres prospectif] avec ces chiffres]

Partie 1 - Potentiel biomasse international terres marginales (ajout V11)

L'analyse systémique du Bio-GNL révèle que la France ne dispose pas du seul gisement significatif de biomasse mobilisable sur terres marginales. A l'échelle mondiale, les steppes, savanes dégradées et terres agricoles à faible productivité représentent un potentiel considérable - mais sa mobilisation pose des questions complexes de gouvernance, souveraineté alimentaire, droits fonciers et cohérence avec les objectifs climatiques.

Cette section qualifie rigoureusement ce potentiel selon les standards V11, en distinguant ce qui est plausible à moyen terme de ce qui relève de la spéculation.

1.1 Précaution méthodologique fondamentale

AVERTISSEMENT DE QUALIFICATION - Les estimations de potentiel biomasse mondiale (150-250 Mha, 1 500-3 000 TWh/an) proviennent d'extrapolations de rendements européens appliqués à des surfaces estimées sans étude terrain. [Pointe tres prospectif - non vérifié]. Ces chiffres doivent être utilisés uniquement pour illustrer l'ordre de grandeur de l'opportunité mondiale, jamais comme base de planification politique ou économique. La position de France doit rester fondée sur le scénario central V11 (~262 TWh/an biomasse nationale) qui est documenté et qualifié.

1.2 Tableau détaillé du potentiel par zone géographique

Le tableau ci-dessous analyse chaque zone sérieusement, avec ses contraintes réelles. La convention [pointe] indique un chiffre prospectif non vérifié.

Zone géographique	Surface estimée (Mha) [pointe]	Potentiel Bio-GNL (TWh/an) [pointe]	Qualification V11	Contraintes et conditions
EUROPE DE L'EST ET BALKANS				
Pologne, Ukraine, Roumanie	40-80 Mha terres agricoles + friches	300-600 TWh/an	[pointe] Tres prospectif	Forte pression agricole. Politiques energetiques nationales a aligner. Infrastructure GRDF inexistante. Necessite investissements majeurs. [Plausible long terme uniquement]
Steppes kazakhes et ouzbekes	150-250 Mha (estimation globale) [pointe]	500-1 500 TWh/an [pointe]	[pointe] Tres prospectif	Rendements biomasse faibles en zones semiarides. Contrainte hydrique majeure. Problemes de gouvernance et geopolitique. Export GNL necessite infrastructure

				portuaire. ESTIMATION HAUTE NON FIABLE.
AFRIQUE SUBSAHARIENNE				
Sahel et savanes (Mali, Burkina, Niger, Tanzanie)	40-80 Mha terres marginales reelles	150-300 TWh/an [pointe tres prospectif]	[pointe] Prospectif 2040+	Instabilite politique. Droits fonciers complexes. Necessite approche codeveloppement equitable. Risque de competition alimentaire si mal encadre. Impact positif possible sur desertification si especes adaptees (jatropa, acacia). [Necessite etudes impact socio-economique]
Congo Basin (RDC, Cameroun)	Potentiel residus forestiers - non quantifiable sans etude	Non quantifie [pointe absent]	[pointe] Absent	Protection biodiversite incompatible avec exploitation intensive. 2e poumon vert mondial. HORS PERIMETRE Programme Resilience - aucune exploitation ne peut etre recommandee. Uniquement residus forestiers certifies MSC/FSC si gestion active demontree.
AMERIQUE DU SUD				
Cerrado bresilien (terres marginales)	30-50 Mha (terres degradees uniquement)	200-400 TWh/an [pointe tres prospectif]	[pointe] Tres prospectif	DISTINCTION CRITIQUE : terres degradees uniquement (non Amazonie). Bresil a expertise eucalyptus et canne biomasse. Partenariat industriel possible si cadre RSE strict et certifications internationales. Necessite traite bilateral France-Bresil specifique. [Plausible 2035+]
Argentine (Pampas et Patagonie)	20-40 Mha steppes et terres marginales	100-200 TWh/an [pointe tres prospectif]	[pointe] Prospectif 2035+	Instabilite economique chronique (risque investissement eleve). Infrastructure export GNL existante (Bahia Blanca). Forte pression sur terres agricoles rentables. Uniquement terres vraiment marginales certifiees.
ASIE DU SUD ET SUD-EST				
Inde (terres degradees Deccan et Rajasthan)	20-40 Mha terres degradees identifiees	150-300 TWh/an [pointe]	[pointe] Prospectif 2035+	Programme national biomasse indien actif (MNRE). Partenariat franco-indien potentiel via technologie pyrogazeification. Usage domestique probable prioritaire sur export. Necessiterait accord strategique bilateral. [Opportunitie a etudier]
TOTAL GLOBAL INDICATIF [pointe tres prospectif]				
Total terres marginales mondiales mobilisables (estimation tres grossiere) [pointe]	150-250 Mha [pointe tres prospectif]	1 500-3 000 TWh/an [pointe tres prospectif - non verifice]	[pointe] Tres prospectif - NON FIABLE	CES CHIFFRES GLOBAUX SONT DES ORDRES DE GRANDEUR NON VERIFIES. Ils sont cites pour illustrer l'ampleur theorique du gisement mondial, non pour planifier une politique. Une etude

				rigoureuse (type IRENA/FAO) est nécessaire avant tout usage institutionnel. [Nécessite validation par expertise indépendante]
--	--	--	--	--

1.3 Cercle vertueux biomasse - le seul argument véritable

L'argument le plus solide pour une coopération internationale sur la biomasse n'est pas l'approvisionnement énergétique de la France (souveraineté nationale requiert biomasse nationale) mais la diffusion du modèle pyrogazéification + biochar comme outil de développement durable exportable :

- Pyrogazéification de résidus agricoles locaux + injection biochar dans sols dégradés -> régénération fertilité + séquestration carbone certifiable (credits EU-ETS) + production énergie locale.
- Ce cercle vertueux nécessite des sols existants pour récupérer le biochar - exactement ce que les terres marginales africaines, indiennes et sud-américaines ont besoin.
- La France exporte la TECHNOLOGIE (pyrogazéification), le SAVOIR-FAIRE (certification CDC V3, gestion forêts) et le FINANCEMENT (credits carbone EU-ETS) en échange de données terrain et de partenariats scientifiques.
- C'est une diplomatie climatique crédible vs la position européenne qui consiste à demander à ces pays de produire de l'H₂ vert pour l'Europe. [Argument politiquement puissant]

Distinction stratégique cruciale : la France ne cherche PAS à importer de la biomasse étrangère (ce serait reproduire le schéma Nord Stream avec un matériau organique). La France cherche à EXPORTER son modèle technologique tout en créant une diplomatie climatique basée sur la régénération des sols mondiaux. La différence est fondamentale pour la souveraineté énergétique. [Argument à intégrer explicitement dans les positions Bruxelles]

1.4 Partenariats stratégiques prioritaires

Pays / Region	Interet pour la France	Risques principaux	Type d'accord recommande
Bresil (Cerrado degrade)	Expertise biomasse + surface importante + infrastructure portuaire GNL existante. Partenariat technologie pyrogazeification vs acces biomasse certifiée.	Risque deforestation si controle insuffisant. Volatilite politique. Competition usage alimentaire. [Risque modere a eleve]	Accord bilateral certifications RSE + transfert technologique pyrogazeification + partage biochar. Horizon 2030+. [Plausible]
Inde (programme MNRE)	Marche interieur 1,4 Md habitants + programme national biomasse actif + terres degradees certifiees disponibles.	Usage domestique probable prioritaire. Protectionnisme technologique possible. Complexite reglementaire. [Risque modere]	Accord scientifique + co-investissement sites pilotes pyrogazeification. Export modele, non import GNL. Horizon 2032+. [Plausible]
Afrique sub-saharienne (Sahel)	Lutte desertification + developpement rural + diplomatie verte. Opportunite si encadrement strict codeveloppement.	Instabilite politique. Droits fonciers. Risque accaparement terres. Emissions transport GNL. [Risque eleve]	Aide developpement conditionne a certifications + usage local en priorite + pas d'export avant besoins locaux couverts. Horizon 2040+. [Tres prospectif]
Pologne / Europe de l'Est	Partenaire EU + transition charbon urgent + forte ressource biomasse. Coalition naturelle vs mandats H ₂ allemands. [Voir Souverainete V11]	Pression agricole. Usage alimentaire concurrent. Politique energetique en evolution. [Risque faible a modere]	Coalition EU France-Italie-Pologne deja identifiee (Souverainete V11). Extension naturelle biomasse internationale. Realiste des 2026. [Plausible immediatement]

Partie 2 - Coopération France-Espagne : enjeux et positions

La coopération France-Espagne sur l'énergie est structurellement asymétrique. L'Espagne ambitionne de devenir exportateur d'H₂ vert à destination de l'Allemagne, avec la France comme territoire de transit obligatoire. Cette position espagnole est cohérente avec ses atouts (ensoleillement, géologie), mais crée un rapport de forces que la France peut utiliser stratégiquement.

2.1 Leviers français dans le corridor BarMar

- La France contrôle le territoire de transit - sans accord français, le pipeline BarMar ne peut pas être étendu vers l'Allemagne. Levier réel. [Voir Souverainete V11 - Partie 4]
- La France peut conditionner sa participation au corridor H₂ à la reconnaissance du bio-CH₄ comme vecteur décarboné équivalent dans les réglementations EU.
- L'Espagne a besoin d'un partenaire crédible pour ses négociations avec Berlin - la France peut monnayer ce soutien contre des concessions sur la taxonomie verte bio-CH₄.
- Proposition concrète : la France co-finance le tronçon BarMar Barcelone-Marseille si et seulement si un tronçon Bio-GNL France-Allemagne est intégré au projet avec garanties équivalentes.

2.2 Opportunités de coopération Espagne-France-Maroc

Le Maroc est à la fois le plus grand producteur d'H₂ vert potentiel et un partenaire historique de la France. L'analyse V11 montre un risque Nord Stream dans la dépendance H₂ marocaine - mais une approche alternative existe :

- Maroc : terres marginales certifiables (Sahara occidental exclu, terres Souss-Massa et Rif dégradées incluses) pour production biomasse locale + biochar + énergie locale. France exporte technologie pyrogazeification.
- Espagne : H₂ vert (usage domestique + export partiel) + transit France -> Allemagne. La France facture le transit et obtient la reconnaissance bio-CH₄.
- France : Bio-CH₄ 100% national (~262 TWh central V11) + technologie exportée + diplomatie climatique via biochar sols africains.
- Triangle gagnant-gagnant-gagnant si et seulement si chaque pays garde sa souveraineté énergétique propre. [Concept diplomatique à développer]

Message clé pour négociateurs français : la position de la France n'est pas de bloquer l'H₂ espagnol ni de résister à la transition verte européenne. C'est de proposer une architecture multi-vecteurs où chaque pays exploite ses atouts propres (H₂ pour Espagne-Allemagne, bio-CH₄ pour France-Pologne-Italie, biomasse internationale pour développement Sud) sans imposer sa solution à ses voisins. C'est l'exacte symétrie du principe de neutralité technologique que la France réclame à Bruxelles pour elle-même.

Partie 3 — Deal CO₂ biogénique français x H₂ vert espagnol → e-méthane aviation

Le Programme Résilience V11 couvre les besoins français en mobilité routière et backup réseau avec la production nationale de bio-CH₄ (~262 TWh/an). Le maillon le plus tendu est l'aviation internationale longue distance, qui requiert des volumes supplémentaires. Cette partie explore une coopération bilatérale inédite : le CO₂ biogénique excédentaire des sites de pyrogazification français, combiné au H₂ vert excédentaire espagnol via la réaction Sabatier, produit un e-méthane certifié RED III pour l'aviation. Ce qui était une compétition géopolitique devient une complémentarité industrielle.

3.1 Deux excédents complémentaires que personne ne combine encore

La France et l'Espagne ont chacune un excédent énergétique qui correspond exactement au déficit de l'autre. Cette complémentarité structurelle est le fondement du deal.

Paramètre	France	Espagne
Excédent naturel	CO ₂ biogénique — sous-produit des 150 sites de pyrogazification · Actuellement partiellement valorisé en Sabatier interne	H ₂ vert — ensoleillement 2 800–3 000 h/an · Capacité solaire excédentaire · Coût H ₂ vert en baisse vers 2–3 €/kg à horizon 2035
Volume estimé []	~22 Mt CO ₂ biogénique/an (150 sites x ~150 000 t CO ₂ /site)	Objectif Espagne : 10 Mt H ₂ /an d'ici 2030 dont fraction exportable
Problème actuel	CO ₂ partiellement torché ou valorisé localement — potentiel d'export sous-exploité	H ₂ vert sans débouché suffisant — le marché EU H ₂ est incertain et lointain
Solution — le deal	Exporte CO ₂ biogénique certifié RED III → reçoit e-méthane pour l'aviation	Reçoit CO ₂ biogénique → produit e-méthane via Sabatier → vend à la France et à l'EU

L'intuition centrale : l'Espagne a du H₂ sans CO₂ utilisable. La France a du CO₂ biogénique certifié sans H₂ suffisant. La réaction Sabatier est le pont. Le résultat est un e-méthane que ni la France ni l'Espagne ne peuvent produire seuls aussi efficacement. [✓Complémentarité structurelle validée]

3.2 La réaction Sabatier — le pont technologique

La réaction de Sabatier (1897) est connue et maîtrisée. Elle est déjà intégrée dans le Programme Résilience V11 pour valoriser les surplus ENR français. L'innovation est de l'appliquer à l'échelle bilatérale avec un CO₂ d'origine française et un H₂ d'origine espagnole.

Paramètre	Valeur	Source / Qualification
Réaction chimique	CO ₂ + 4H ₂ → CH ₄ + 2H ₂ O	Réaction de Sabatier — connue depuis 1897 · TRL 7–8 à grande échelle [✓]
Rapport stœchiométrique	1 t CO ₂ + 0,18 t H ₂ → 0,36 t CH ₄ + 0,36 t H ₂ O	[✓Chimie élémentaire]
Rendement énergétique	~75–80 % (H ₂ → CH ₄) · pertes sous forme de chaleur récupérable	[Variable selon technologie — SOEC ou PEM + Sabatier]
Statut carbone du CH₄ produit	E-méthane certifié carbon-neutre si CO ₂ source biogénique + H ₂ source renouvelable	[✓RED III Annexe IX — carburant renouvelable avancé éligible · Même statut que bio-CH ₄ pyrogazification]

3.2.1 Deux variantes logistiques

- Variante A — Transport de CO₂ : les sites français exportent du CO₂ biogénique liquéfié vers des unités Sabatier en Espagne, qui produisent l'e-méthane et le renvoient. Infrastructure requise : pipeline CO₂ ou transport cryogénique. []

- Variante B — Transport de H₂ : l'H₂ espagnol circule vers la France via le corridor BarMar, et les unités Sabatier sont installées directement sur les sites français de pyrogazification, où le CO₂ biogénique est disponible localement. Le CH₄ est produit sur sol français — souveraineté préservée. []

Variante B recommandée : elle préserve la souveraineté française (production sur sol national), utilise l'infrastructure BarMar dans un sens mutuellement bénéfique, et évite le transport de CO₂. [À étudier techniquement et économiquement]

3.3 L'application : l'aviation internationale

L'aviation longue distance est le seul segment que le Programme Résilience ne peut pas couvrir pleinement avec la seule production française. Le bio-GNL issu de la pyrogazification nationale (~262 TWh) est prioritairement alloué à la mobilité routière et au backup réseau. L'e-méthane franco-espagnol comble ce déficit pour l'aviation.

Usage	Source	Volume estimé []	Statut
Mobilité routière ÉREV (33 M véhicules)	Pyrogazification + méthanisation française	~180–200 TWh/an	✓ Couvert production nationale
Backup réseau électrique (CCGT + ÉREV)	GRDF 130 TWh + production nationale	~40–60 TWh/an	✓ Couvert
Aviation nationale (compagnies françaises)	Bio-GNL pyrogazification + terres marginales	~35 TWh/an besoin	✓ Couvert à horizon 2040
Aviation internationale (hubs EU, longs courriers)	E-méthane franco-espagnol (deal CO ₂ + H ₂)	Volume à définir []	Gisement potentiellement important selon capacité Sabatier

3.4 La transformation géopolitique

C'est la dimension la plus importante de ce deal. Il transforme structurellement la relation France-Espagne sur l'énergie — de compétition sur les vecteurs à coopération industrielle. Et il renforce considérablement la position française à Bruxelles.

Dimension	Sans le deal (compétition)	Avec le deal (coopération)
Position à Bruxelles	France défend bio-CH ₄ vs Espagne qui défend H ₂ → blocage politique mutuel	France + Espagne présentent un modèle complémentaire → position unifiée beaucoup plus forte [✓]
Le corridor BarMar	Pipeline H ₂ Espagne → France → Allemagne que la France subit comme territoire de transit	Utilisé dans les DEUX sens : H ₂ espagnol vers France + e-méthane vers EU → levier de négociation renforcé []
Neutralité technologique EU	Difficile à obtenir si France et Espagne s'opposent sur les vecteurs	Le deal démontre concrètement que H ₂ et bio-CH ₄ sont complémentaires → argument vivant pour la neutralité technologique [✓]
Souveraineté France	Achat d'e-méthane importé d'Espagne = dépendance partielle	Si Sabatier fait en France avec H ₂ importé + CO ₂ national : le CH ₄ est produit sur sol français [✓]
Extension possible	Modèle bilatéral limité	Portugal, Grèce, Maroc (avec précautions souveraineté) ont des profils similaires à l'Espagne → modèle reproductible []

Argument clé pour Bruxelles : si France et Espagne arrivent ensemble avec ce modèle, ils ne défendent plus deux vecteurs concurrents (bio-CH₄ vs H₂) — ils démontrent concrètement que les deux sont complémentaires et nécessaires. C'est l'argument vivant pour la neutralité technologique que le Programme Résilience réclame depuis V10. [✓ Argument politique structurant]

3.5 Modèle économique et conditions de faisabilité

Flux économique	Vendeur	Acheteur	Valeur estimée []
CO₂ biogénique certifié RED III	France (sites pyrogazification)	Espagne (sites Sabatier)	20–50 €/t CO ₂ · selon certification et marché EU-ETS []
H₂ vert (livré en France — Variante B)	Espagne (producteurs solaires)	France (Sabatier on-site)	2–4 €/kg H ₂ à horizon 2035 []
E-méthane produit (bio-GNL aviation)	France (Sabatier on-site — Variante B)	Compagnies aériennes EU · France en priorité	~60–90 €/MWh · comparable au bio-GNL pyrogazification []
BILAN NET FRANCE	Revenu CO ₂ exporté + CH ₄ aviation additionnel sans nouvelle biomasse	—	Double bénéfice : revenus + solution aviation []
BILAN NET ESPAGNE	Débouché garanti pour H ₂ vert · revenu e-méthane · position industrielle EU	—	Marché H ₂ garanti sans attendre l'infrastructure EU []

3.5.1 Conditions de viabilité économique

- Prix H₂ vert espagnol < 3 €/kg à horizon 2035 — attendu selon trajectoires IRENA et IEA mais non garanti. []
- Prix CO₂ biogénique certifié RED III > 20 €/t — dépend de la reconnaissance EU-ETS biochar (voir Annexe Juridique EU V11, principe 5). []
- Coût Sabatier < 40 €/MWh de CH₄ produit — atteignable à grande échelle avec électricité renouvelable peu chère. []
- Certification e-méthane RED III comme carburant aviation renouvelable — démarche parallèle à la catégorie ÉREV-RE (révision 2026). []

Principe de souveraineté — borne à ne pas franchir : l'aviation nationale française doit pouvoir fonctionner sans l'e-méthane espagnol. Ce deal couvre l'aviation internationale additive — pas le cœur du système. Si l'Espagne coupe le H₂, la France ne doit pas se retrouver en rupture d'approvisionnement aviation nationale. [✓Principe de souveraineté préservé]

Conclusion - La France comme exportateur de modèle, non importateur de dépendances

Le potentiel mondial des terres marginales en biomasse est réel mais très prospectif. La France n'a ni besoin ni intérêt à en importer : sa force est sa souveraineté sur 262+ TWh de biomasse nationale. En revanche, exporter la technologie pyrogazification + biochar au Brésil, en Inde, en Afrique crée une diplomatie climatique crédible, des retombées industrielles (comparables à Airbus ou TGV [Pointe]) et des crédits carbone EU-ETS valorisables.

La coopération France-Espagne est asymétrique mais gérable par les leviers de transit du corridor H₂. La coopération France-Pologne-Italie reste la coalition la plus réaliste à court terme pour défendre la neutralité technologique à Bruxelles.

Sources

Programme Résilience V11 (mai 2026) - Souveraineté Énergétique V11 - FAO Global Land Use 2022 - IRENA Bioenergy Potential 2023 - BloombergNEF Biogas Outlook 2024 - Analyse systématique Bio-GNL (Mistral, mai 2026) [Qualifiée pointe prospectif] - IPCC AR6 WGIII Ch11 (Agriculture Forestry Land Use)

