



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

anr®
agence nationale
de la recherche



Programme et Équipement Prioritaire de Recherche

« PEPR SPLEEN pour la Décarbonation de l'Industrie »

Appel à projets – 2024

Vague 1

L'appel à projets est ouvert jusqu'au 14/03/2024 à 11h00 (heure de Paris).

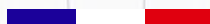
Adresse de consultation : <https://anr.fr/PEPR-SPLEEN-AAP-2024>

Un webinaire de présentation est prévu le 16/01/2024 à 14h30 (heure de Paris).

Le lien d'inscription au webinaire sera disponible sur la page web de l'appel.

APPEL À PROJETS

Janvier 2024



Résumé

L'implantation opérationnel du programme PEPR SPLEEN « Décarbonation de l'Industrie » se matérialise au travers trois types de projets : des projets ciblés, lancés au démarrage du programme et qui rassemblent des communautés de recherche structurées autour de thématiques bien définies, couvrant les quatre axes de SPLEEN ; des projets sélectionnés via des Appels à Projets (AAP), où une communauté scientifique existante mais diffuse est invitée à répondre à des problématiques bien définies, en complément des objets traités dans le cadre des projets ciblés ; des projets résultant d'un mécanisme d'Appels à Manifestation d'Intérêt (AMI), qui visent une communauté scientifique qui n'est pas encore structurée, traitant de thématiques multidisciplinaires, dont l'objectif est d'élargir et de compléter le périmètre des projets ciblés. Ce document vise à lancer le mécanisme d'Appels à Projets. Ce premier appel à projets est doté d'un budget de financement de 12,8 M€ (18% du budget total de financement du PEPR SPLEEN). Un deuxième appel à projets se déroulera ensuite (ouverture 4eme semestre 2024). Au cours de ces périodes, la communauté sera invitée à répondre aux mêmes défis. Ce document décrit le contexte et les objectifs de l'appel, son phasage, les thématiques et les projets attendus, les modalités de dépôt des propositions, la procédure d'examen et de sélection des projets candidats ainsi que les critères d'évaluation des propositions, les dispositions générales pour le financement et les principes de l'accord de consortium qui devra être rédigé entre les parties prenantes à chaque projet.

Mots-clés

Capteurs innovants, décarbonation de la chaleur, électrification des procédés, récupération et valorisation de la chaleur fatale, procédés multifonctionnels, captage de CO₂, procédés modulaires, synthèse de matériaux ex-CO₂

Dates importantes

Clôture de l'appel à projets

Les éléments du dossier de dépôt doivent être déposés sous forme électronique, y compris les documents signés par le responsable légal de chacun des partenaires, impérativement avant le :

14 mars 2024 à 11h00 (heure de Paris)

sur le site :

<https://france2030.agencerecherche.fr/PEPR-SPLEEN-AAP-2024>

Webinaire de présentation de l'appel à projets

16 janvier 2024 de 14h30 à 16h (heure de Paris)

Lien d'inscription disponible sur la page web

Contacts ANR

PEPR-Decarbonation@anr.fr

CHARGE DE PROJET SCIENTIFIQUE : PIERRE ASPLANATO

RESPONSABLE DE PROGRAMME : JACK LEGRAND

Il est nécessaire de lire attentivement l'ensemble du présent document et les instructions disponibles sur le site de dépôt des dossiers.

Sommaire

Résumé	2	3. Dispositions générales pour le financement ..	14
Mots-clés	2	3.1. Financement	14
Dates importantes	3	3.2. Accords de consortium	14
Contacts ANR	3	3.3. Science ouverte	15
1. Contexte et objectifs de l'appel à projets	2	3.4. Aide d'État	15
1.1. Contexte	2	3.5. Suivi des projets par l'ANR.....	15
1.2. Objectifs de l'appel à projets.....	3	4. Modalités de dépôt	16
1.3. Rôle des directeurs du PEPR.....	3	4.1. Contenu du dossier de dépôt	16
2. Thématiques de de l'appel et projets attendus	4	4.2. Procédure de dépôt.....	16
2.1. Thématiques	4	4.3. Conseils pour le dépôt	17
2.2. Principales caractéristiques des projets.....	11	Annexe 1 : résumés des projets ciblés du PEPR	
2.3. Partenaires.....	11	SPLEEN	17
2.4. Critères de recevabilité.....	12	Annexe 2. Indicateurs	23
2.5. Critères d'évaluation	13	Annexe 2.1 INDICATEURS COMMUNS DES PROJETS FRANCE 2030	23
		Annexe2. 2 INDICATEUR COMMUN AUX PEPR	25

1. Contexte et objectifs de l'appel à projets

1.1. Contexte

La recherche et développement (R&D) a un rôle majeur à jouer pour soutenir la décarbonation de l'industrie française et le développement de filières industrielles nationales de solutions de décarbonation. C'est un enjeu fondamental lorsque l'on sait que l'industrie est responsable d'environ 20 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur le territoire national. La **Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)** vise un objectif de réduction des émissions de GES de 35 % d'ici 2030 et de 81 % d'ici 2050 par rapport à 2015 pour l'industrie.

Le Programme et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR) "**Soutenir l'innovation pour développer de nouveaux procédés industriels largement décarbonés**" (SPLEEN) s'inscrit dans la **stratégie nationale d'accélération France 2030 « décarbonation de l'industrie »** et vise à préparer une offre technologique et des solutions en rupture qui contribueront à la tenue des engagements climatiques de la France à l'horizon 2050 et à renforcer la souveraineté nationale sur les technologies dédiées à la décarbonation.

Le PEPR SPLEEN a comme objectif la mise en œuvre d'un programme de recherche structurant, visant à la transformation des procédés industriels pour les rendre moins émetteurs de gaz à effet de serre. Il a vocation à encourager et à soutenir des activités de recherche amont, dans la gamme TRL 1-4, répondant aux priorités définies dans le cadre de la stratégie nationale d'accélération « décarbonation de l'industrie » de France 2030. Son pilotage est assuré par le CNRS (représenté par Fabrice Lemoine, Professeur à l'Université de Lorraine) et par IFPEN (représenté par António Pires da Cruz, responsable de programme à IFPEN).

Le programme se décline en quatre axes de recherche complémentaires :

- **Outils d'optimisation de la décarbonation en partant des procédés pour aller jusqu'aux sites industriels** (écologie industrielle) :
 - en se fondant sur l'acquisition de données et leur traitement en temps réel, afin de rétroagir sur les procédés, notamment en fonction d'indicateurs basés sur l'analyse de cycle de vie, dans un objectif de décarbonation ;
 - en optimisant des synergies entre ensembles productifs et avec les territoires (ensembles urbains notamment).

Cet axe revêt très clairement un caractère transversal avec les trois autres axes du PEPR :

- **Introduction de vecteurs énergétiques décarbonés dans le mix énergétique industriel** (en particulier pour la production de chaleur industrielle), **accroître l'efficacité énergétique.**
- **Intensification et décarbonation des procédés** : réactions chimiques et conversion catalytique, réacteurs, production du ciment et de l'acier, captage et séparation du CO₂.
- **Traitement du CO₂** :
 - par conversion en molécules d'intérêt (chimie) ou carburants ou matériaux (carbonates, polymères) ;
 - par séquestration géologique on-shore en visant à anticiper sa trajectoire sociotechnique et le monitoring à long terme.

Dix projets ciblés ont été lancés en 2023, mobilisant des communautés structurées autour d'enjeux majeurs tels que l'établissement de nouvelles méthodologies d'analyse de cycle de vie, l'écologie industrielle et territoriale, le monitoring et les outils d'analyse temps réel de la décarbonation, la solarisation des procédés industriels ; la chimie éco-efficace visant à améliorer l'efficacité énergétique et matière des conversions, l'intensification des procédés de captage et de séparation du CO₂ visant à les rendre énergétiquement plus efficaces et éco-efficaces, l'amélioration des procédés basés sur l'oxy-combustion visant à concentrer les flux de CO₂, la conversion du CO₂ en molécules d'intérêt (y compris des carburants) fondée sur l'électro-catalyse, la photocatalyse et la biocatalyse et enfin, les conditions d'identification sociotechniques d'un site de stockage de CO₂ onshore, en France. Un résumé de chaque projet ciblé est fourni en Annexe 1.

1.2. Objectifs de l'appel à projets

Cet appel à projets cherche à renforcer les axes scientifiques du PEPR SPLEEN, en complémentarité avec les projets ciblés, sur des sujets qui demandent des travaux de recherche davantage exploratoires ou pour lesquels les communautés scientifiques sont moins structurées.

L'appel à projets couvre les quatre axes thématiques du PEPR SPLEEN, ceci afin de mener des recherches amont destinées à soutenir le développement de filières technologiques nationales ou européennes, présentant un fort potentiel pour contribuer à la décarbonation de l'industrie d'ici 10/15 ans.

Cet appel à projets est doté d'un montant global de 12,8 M€.

Un deuxième appel est prévu en 2025. Il sera lancé à la fin du 4^{ème} trimestre 2024.

Ces projets de recherche, dont l'ambition sera d'atteindre le niveau de TRL 4, devront apporter des éléments de connaissance indispensables aux développements des technologies pour favoriser l'émergence de ces dernières avant leur transfert vers le secteur industriel.

Les projets veilleront à atteindre autant que possible le niveau TRL 4 (en fin de projet), soit présenter une validation des composants et/ou de maquettes en laboratoire.

1.3. Rôle des directeurs du PEPR

Dans le cadre de cet appel à projets, les directeurs de programmes du PEPR ont eu la charge de la préparation du texte décrivant les objectifs, le périmètre scientifique et les thèmes de l'appel, ceci en cohérence avec les objectifs de la stratégie nationale d'accélération « décarbonation de l'industrie », la structure du programme et les 10 projets ciblés déjà lancés.

Les directeurs de programme sont :

- M. Fabrice Lemoine, CNRS, Professeur des Universités
- M. António Pires da Cruz, IFPEN, Responsable de Programme
- Contact : contact@pepr-spleen.fr

Les directeurs de programme du PEPR proposeront au Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI) la désignation des projets qui pourraient être financés et le montant d'aide qui pourrait leur être définitivement attribué. Ils mettront en place l'animation scientifique, notamment au travers de séminaires d'axe tous les 6 mois.

Enfin, les directeurs du PEPR suivront les projets lauréats lors de revues annuelles avec le porteur du projet, en concertation avec l'ANR et le coordinateur de la stratégie nationale « décarbonation de l'industrie ». L'objet sera de mettre en avant et de discuter les avancées scientifiques et leur dissémination (dont la valorisation sous formes d'actions de pré-maturation et maturation), mais également d'évoquer les points relatifs aux ressources humaines et financières, ainsi que des difficultés éventuellement rencontrées.

2. Thématiques de de l'appel et projets attendus

2.1. Thématiques

Cet appel à projets vise à soutenir plusieurs champs thématiques du PEPR SPLEEN, afin d'élargir l'offre scientifique des différents axes du programme. Chacun des champs thématiques est divisé en sous-thématiques. Ils sont résumés dans le Tableau 1 et détaillés dans les paragraphes qui suivent.

Le nombre et le montant des projets soutenus sont mentionnés à titre indicatif.

Tableau 1 : Synthèse des thématiques et des budgets et nombre de projets indicatifs, pressentis de l'Appel à Projets

Thématique Sous-thématique	Axe PEPR	Budget indicatif alloué	Nombre de projets pressentis	Projets ciblés qui rentrent dans la thématique ¹
1. Systèmes de capteurs innovants pour la décarbonation de l'industrie : 1,6 M€				
1.1. Vers un système holistique de capteurs pour l'industrie	1	1,6 M€	1 à 2	DCARBO, LCA-Spleen, ACT4IE
2. Introduction de vecteur énergétiques décarbonés dans les procédés industriels : 3,6 M€				
2.1. Décarbonation de la chaleur par l'usage de l'hydrogène, de l'ammoniac et de la biomasse	2	1,6 M€	1 à 2	
2.2. Electrification efficace des procédés industriels	2	2 M€	2	ECOCHÉM, POWERCO2, SHIP4D
3. Gestion de la chaleur fatale : récupération et valorisation : 2,4 M €				
3.1. Gestion de la chaleur fatale : récupération et valorisation	2	2,4 M€	2 à 3	SHIP4D
4. Procédés intensifiés et décarbonés : 2 M€				
4.1. Procédés multifonctionnels en rupture	3	2 M€	2	ECOCHÉM
5 : Captage et utilisation du CO₂ : 3,2 M€				
5.1. Procédés de captage de CO ₂ modulaires et montée en échelle	3	1,6 M€	1 à 2	IMOSSYCA, CATALPA, OXY3C
5.2. Synthèse de Matériaux, polymères et carbonates à partir de CO ₂	4	1,6 M€	1 à 2	IMOSSYCA, CATALPA

Champ thématique 1 : Systèmes de capteurs innovants pour la décarbonation de l'industrie

¹ Un résumé de chaque projet ciblé est fourni en Annexe 1.

Sous-thématique 1.1 : Vers un système holistique de capteurs pour l'industrie

Budget indicatif alloué : 1,6 M€ (1 à 2 projets)

La décarbonation de l'industrie a besoin de solutions technologiques pour la surveillance en temps réel des émissions des processus et des sites industriels, en lien avec l'impact environnemental et la sécurité des personnes. Ces technologies se doivent d'être peu coûteuses, robustes, évolutives et adaptables pour le suivi et la régulation de la consommation d'énergie et la réduction des émissions gaz à effet de serre et des polluants des procédés.

L'objectif de ces capteurs (instruments physiques ou capteurs/observateurs logiciel) ou analyseurs sera de produire des données en temps réel, qui après traitement – par exemple en utilisant des logiques d'apprentissage profond – permettront d'établir des indicateurs conduisant à un pilotage des procédés et des ensembles productifs dans un objectif de décarbonation.

Les projets attendus en réponse à cette thématique requièrent l'adoption de nouveaux paradigmes dans le développement de la technologie des capteurs (sensibilité, sélectivité, latence, compacité du système, coût...) et dans le déploiement de réseaux (communications sans fil sécurisées, intelligence distribuée, génération de données, gestion globale de l'énergie...) afin d'atteindre une frugalité et une robustesse suffisantes, permettant la transition numérique de l'industrie dans des conditions écologiquement réalistes pour les industries traditionnelles.

Les projets doivent traiter tout particulièrement les points suivants :

- 1) Une augmentation de la sensibilité et de la sélectivité des capteurs ubiquitaires hautement intégrés ou des réseaux de capteurs pouvant mesurer simultanément une grande variété de paramètres (par exemple, température, CO₂, NO_x, PM, CH₄, N₂O...), une rupture dans le coût des capteurs intégrés.
- 2) Une autonomie énergétique (capteurs isolés ou maintenance limitée/à distance) et un auto-étalonnage pour fournir des données qualifiées, grâce à l'étalonnage *in situ* des capteurs et au croisement de données multi-physiques à toutes les échelles.
- 3) De nouvelles architectures, composants ciblés et nouveaux matériaux en vue d'une électronique à faible consommation, d'une récupération d'énergie et de stratégies d'intégration. La prise en compte de la totalité du cycle de vie des capteurs devra intégrer également les alternatives de fin de vie (recyclabilité, réaffectation et/ou réutilisation).

Mots-clés : Capteurs innovants, nouveaux matériaux actifs, sensibilité, edge computing, réseau sans fil, électronique à faible consommation, auto-calibration, environnements difficiles, faible coût, intégration de l'électronique, éco-conception, données physiques multiples, cybersécurité, traitement massif de données

Champ thématique 2 : Introduction de vecteurs énergétiques décarbonés dans les procédés industriels

Sous-thématique 2.1 : Décarbonation de la chaleur par l'usage de l'hydrogène, de l'ammoniac et de la biomasse

Budget indicatif alloué : 1,6 M€ (1 à 2 projets)

Afin de répondre aux besoins de l'industrie en termes de production de chaleur, la combustion ou la pyrolyse de nouveaux types de combustibles sans carbone (hydrogène, ammoniac) ou neutres en carbone (à base de biomasse) peut être envisagée.

Les actions de recherche doivent viser des solutions innovantes afin de permettre l'utilisation de vecteurs énergétiques sans carbone ou à faible teneur en carbone et le développement de nouveaux procédés sans émissions ou avec des faibles émissions de CO₂ et en évitant d'autres émissions polluantes telles que les NO_x ou le CO par exemple. Les solutions proposées devront atteindre TRL 4 en utilisant des approches expérimentales ou numériques, appliquées à des installations pilotes à l'échelle de laboratoire.

Les projets attendus devront être principalement ciblés sur les 4 objectifs suivants :

- 1) Acquisition de bases de données expérimentales, quasi-inexistantes actuellement, pour améliorer la connaissance des mécanismes de cinétiques chimiques d'oxydation et d'émissions polluantes ainsi que de l'interaction flamme-turbulence, que ce soit dans le cas de la combustion de l'hydrogène, de l'ammoniac ou du syngas (en intégrant les composés mineurs comme les goudrons). L'objectif sera de disposer de cas de référence pour valider les modèles existants ou pour développer de nouveaux modèles nécessaires à l'optimisation des brûleurs.
- 2) Réalisation de simulations numériques 'haute fidélité', basées sur la LES (Large Eddy Simulation) et la DNS (Direct Numerical Simulation), avec des modèles cinétiques adaptés et optimisés dans le but de mieux comprendre les mécanismes complexes en jeu et de développer de nouveaux modèles numériques prédictifs pour optimiser les nouveaux brûleurs industriels qui fonctionneraient avec de l'hydrogène, de l'ammoniac ou du syngas et/ou des mélanges.
- 3) Améliorer la flexibilité des brûleurs selon le combustible et la variabilité de la composition de la charge, en particulier du syngas (selon son origine, biomasse ou déchets) ou encore des mélanges syngas/combustibles zéro-carbone et proposer des améliorations technologiques des brûleurs.
- 4) Développer des réacteurs de pyrolyse ou de conversion hydrothermale plus flexibles (et moins sensibles au type de biomasse) permettant la séquestration du carbone (biochar) et la production de chaleur (via la combustion du syngas et des bio-huiles).

Les projets attendus pourront comporter les points suivants, entre autres :

- les processus de combustion de mélanges de combustibles décarbonés ou neutres en carbone ;
- la compréhension, la prédiction et la réduction des différents types de polluants ;
- le développement de matériaux optimisés en coût et en robustesse (catalyseurs, adsorbants) pour améliorer la qualité du syngas ou la conversion catalytique des polluants ;
- le développement de procédés d'oxydation et de pyrolyse de différents types de biomasses, déchets et leurs co-produits (solides, huiles, gaz) ;
- la sécurité des systèmes de combustion utilisant l'hydrogène, l'ammoniac ou la biomasse ;
- le développement de modèles permettant d'optimiser les systèmes de production de chaleur industrielle basés sur d'hydrogène, l'ammoniac ou la biomasse, en incluant l'analyse multicritère (économiques, environnementales, etc.) des filières de combustions ou pyrolyse/gazéification.

Mots-clés : Combustion carburants bas carbone, hydrogène, ammoniac, biomasse, émissions NOx, mécanismes de cinétiques d'oxydation, modélisation de la combustion, simulation numérique, bases de données expérimentales, brûleurs flexibles, réacteurs de pyrolyse

Sous-thématique 2.2 : Electrification efficace des procédés industriels

Budget indicatif alloué : 2 M€ (2 projets)

L'utilisation de l'électricité est déjà présente dans l'industrie et du fait du mix énergétique français (production nucléaire ou renouvelable) permet de contribuer à la décarbonation. Il reste cependant de nombreux procédés qui pourraient être électrifiés, en particulier pour la production, la conversion, l'activation d'éléments réactifs en phases gaz, liquide ou solide. La production de chaleur par une technologie adaptée au procédé et avec une forte efficacité énergétique, est aussi un axe important.

Ainsi, les projets attendus devront cibler des thématiques des trois axes suivants :

- 1) Electrification des procédés chimiques : le développement et la conception d'électro-catalyseurs efficaces sont obligatoires pour contourner les problèmes classiques de l'électrification des processus tels que la surtension ou la passivation des électrodes qui ont retardé les développements industriels. Pour atteindre cet objectif, une compréhension approfondie, ainsi que des méthodes d'apprentissage automatique seront nécessaires pour l'optimisation rationnelle de catalyseurs sélectifs et efficaces. Par exemple, les interactions entre plasma et catalyseurs sont pour le moment assez mal maîtrisées. Les propositions peuvent relever le défi de l'activation de petites molécules telles que le N₂ pour la synthèse de l'ammoniac ou le H₂ avec des

porteurs d'hydrogène organiques liquides (LOHC) et le défi de l'électrosynthèse évolutive et durable de molécules organiques complexes d'intérêt industriel avec le développement de méthodes chimio-, régio- et stéréo-sélectives.

- 2) Dans les secteurs industriels, médical et agro-chimique, l'épuration/conversion des effluents gazeux et liquides (en amont ou en aval d'un procédé), la fonctionnalisation ou le traitement de surfaces actives et la séparation d'espèces et/ou de phases nécessitent une consommation croissante d'énergie, en particulier d'énergie fossile. Les propositions peuvent aborder au moins un des thèmes ci-dessus, avec le défi d'utiliser davantage (ou exclusivement) l'énergie électrique et avec pour objectifs, l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'amélioration la conservation des ressources et la réduction des déchets.
- 3) L'utilisation de l'énergie électrique pour générer de la chaleur pour les procédés industriels, comme les réacteurs chimiques, les fours, les unités de séparation et de purification par exemple, présente un grand potentiel de réduction des émissions de CO₂, tout en améliorant l'efficacité énergétique. Pour atteindre cet objectif, des approches disruptives de l'intégration de la chaleur générée électriquement sont nécessaires. Différentes solutions technologiques, plus ou moins matures, peuvent être utilisées comme les résistances électriques, l'induction, les micro-ondes, les systèmes radiatifs ou le plasma. Différentes applications pourront être considérées : fours multitubulaires, réacteurs-échangeurs, ou réacteurs catalytiques.... Plus que de nouvelles solutions technologiques, l'objectif de cette intégration est d'améliorer la génération de chaleur et le transfert de chaleur (conductif, convectif, radiatif) vers l'application et d'éviter la chaleur perdue.

Les enjeux scientifiques peuvent concerner la compréhension de phénomènes multi-échelles (spatiales et/ou temporelles pour notamment préparer la future maturation vers des TRL plus élevés), les concepts pour passer des conditions de laboratoire au niveau industriel, la réalisation d'études multiparamétriques et/ou le couplage de plusieurs processus en combinant des approches expérimentales et numériques, des analyses in situ (en développant de nouvelles méthodes de diagnostic, statistiques ou basées sur l'intelligence artificielle), ...

Mots-clés : Electro-catalyseurs, optimisation rationnelle, électrification des procédés, chaleur industrielle, micro-ondes, plasmas, résistances, systèmes radiatifs

Champ thématique 3 : Gestion de la chaleur fatale : récupération et valorisation

Sous-thématique 3.1 : Gestion de la chaleur fatale : récupération et valorisation

Budget indicatif alloué : 2.4 M€ (2 à 3 projets)

Comme le rapporte l'ADEME², la valorisation de la chaleur résiduelle est une solution incontournable pour augmenter considérablement l'efficacité énergétique du secteur industriel (la chaleur résiduelle > 100°C représente 53 TWh de la production totale de chaleur de 270 TWh pour le secteur industriel, en France). Des premières expériences de récupération et de valorisation de cette chaleur fatale sont déjà développées sur des sites industriels, mais sur le potentiel le plus facile à valoriser : fumées propres et à haute température par exemple. Il est donc nécessaire de développer des solutions innovantes pour étendre les possibilités d'applications industrielles en travaillant sur les thèmes suivants :

- 1) Valorisation des sources à basse température sur des procédés à plus haute température (>180 °C) :
 - a. Pompes à chaleur à compression mécanique, appelées « Très Haute Température », qui ne sont pas encore disponibles commercialement ; les projets devront porter sur des points importants tels que le fluide de travail, les composants (par exemple la récupération du travail de détente) et le comportement dynamique du système ;

² La chaleur Fatale, Faits et Chiffres, ADEME 2017

- b. Pour les transformateurs thermiques (par absorption ou thermochimiques), des projets portant sur les couples de travail (absorbant/absorbeur ou gaz/sel), l'intensification des transferts de chaleur et de masse à l'échelle des composants et le comportement dynamique du système, sont attendus.
 - 2) Cycles innovants pour la conversion de chaleur en électricité : La valorisation de la chaleur fatale la plus facile à intégrer et à utiliser est sous la forme d'une conversion en électricité. Des solutions matures existent comme les ORC (« Organic Rankine Cycles »), mais de nouvelles technologies, basées sur des cycles innovants, avec un meilleur rendement, restent à développer.
 - 3) Échangeurs de chaleur : la récupération de la chaleur dans un contexte industriel demande de lever plusieurs verrous sur les échangeurs, qui limitent encore leur développement :
 - a. Les problématiques d'encrassement et de vieillissement : développement de surfaces autonettoyantes, prévention de la corrosion, détection, prévision et gestion de l'encrassement...
 - b. Le développement de solutions de récupération de chaleur sur des solides chauds : pièces de fonderie, trains de laminage à chaud, granulats... Une attention particulière sera portée aux concepts de mise à l'échelle et de répliquabilité de la solution ;
 - c. Le développement de matériaux et de surfaces : intensification des transferts par texturation/fonctionnalisation de surface, développement de matériaux à faible coût pour la récupération de chaleur basse température, développement de matériaux spécifiques pour la récupération du rayonnement.
 - 4) Le stockage thermique et géothermique permettant d'optimiser la valorisation de la chaleur fatale afin de gérer le décalage temporel entre disponibilité et utilisation.

Il s'agira de mener des travaux sur les fluides de transfert potentiels, de l'eau à basse température jusqu'à l'air à très haute température, sur les matériaux de stockage avec les problématiques de compatibilité (corrosion, attrition, compaction, vieillissement, ...) et sur l'optimisation des transferts de chaleur. Les travaux pourront porter soit sur du stockage de type journalier dans des réservoirs en surface, soit sur du stockage à plus long terme de type géothermique par exemple.

Les projets proposés sur ce champ thématique devront démontrer leur applicabilité future en environnement industriel.

Mots-clés : Chaleur fatale, récupération, valorisation, stockage thermique ou géothermique, échangeur de chaleur, matériaux et surfaces, cycles innovants, pompes à chaleur très haute température

Champ thématique 4 : Vers des procédés intensifiés et décarbonés

Sous-thématique 4.1 : Procédés multifonctionnels en rupture

Budget indicatif alloué : 2 M€ (2 projets)

Les procédés industriels (production d'énergie et de chaleur, chimie, ciment, métallurgie, pharmacie...) de demain devront être capables de s'adapter à un monde où l'économie circulaire deviendra prédominante et où les déchets deviendront une matière première et leur variabilité une contrainte sur la conception et l'opérabilité des procédés. Dans le même temps, les énergies deviendront renouvelables et fluctueront en termes de production mais aussi en termes de coût, en fonction de l'offre et de la demande. Les processus du futur devront ainsi s'adapter à (i) l'intermittence et la variabilité des intrants en termes de quantités et de compositions (fluctuations de la disponibilité des matériaux biosourcés, variations saisonnières des intrants biosourcés, mine urbaine...); (ii) la variabilité des sorties des procédés (marchés, procédés en aval...); (iii) la variabilité des coûts des utilités (sources d'énergie renouvelables); (iv) la production délocalisée et distribuée.

L'objectif de cet appel est la conception de procédés industriels en rupture, flexibles, modulaires et agiles, capables de s'adapter à des dynamiques rapides. Seuls des procédés couplés en termes de fonctionnalités ou de couples

procédés/réacteurs seront considérés. Ils devront démontrer être plus performants en termes de dépenses énergétiques (i.e. moins intensifs en émissions de CO₂), de coût, de sécurité, d'opérabilité et de contrôlabilité.

Les projets proposés devront traiter l'une ou les deux échelles suivantes :

1. **Echelle des procédés** : Intégration de fonctions multiples dans des unités compactes ; conception et exploitation de procédés continus, couplant réaction et séparation ; conception de séparations hybrides, couplant des fonctions élémentaires de séparation ; utilisation de solvants sous pression pour une efficacité énergétique des procédés accrue. La recherche de méthodologies d'identification d'architectures optimales peut être considérée.
2. **Echelle des équipements** : Conception et couplage d'opérations unitaires, profitant des multiples degrés de liberté offerts par la fabrication additive, visant l'apport de fonctions spécifiques aux transformations chimiques ; conversion de procédés batch, jusqu'au fonctionnement en flux continu ; conception et extrapolation à l'échelle industrielle ou multiplication d'unités microstructurées ; stratégies d'intensification ciblées, dédiées aux unités de séparation à forte consommation énergétique (séchage...) ou unités de séparation à fort tonnage ; convertisseurs électrochimiques. La recherche de méthodologies d'optimisation de la topologie pour une préconception intelligente des composants du procédé à l'aide de la modélisation multi-échelle et multi-physique des écoulements de fluides, couplée aux transferts de chaleur et de masse peut être considérée.

Ils devront nécessairement aborder un ou plusieurs des aspects de la liste ci-dessous (non-exhaustive) :

- Technologies en rupture ;
- Analyse locale des phénomènes de transfert ;
- Modélisation et simulation des procédés (dynamiques et/ou statiques) ;
- Conception optimale ;
- Contrôle optimal.

Mots-clés : Réacteur multifonctionnel, séparation de réactifs, séparations hybrides, microréacteurs, opération dynamique, intensification des procédés, procédés embarqués, procédés modulaires, production délocalisée d'électricité, optimisation de topologies, modélisation multiphysique et multi-échelle

Champ thématique 5 : Captage et utilisation du CO₂

Sous-thématique 5.1 : Procédés de captage de CO₂ modulaires et montée en échelle

Budget indicatif alloué : 1.6 M€ (1 à 2 projets)

Une condition nécessaire du déploiement du captage et du stockage du CO₂ (CSC, *angl.* Carbon Capture and Storage) est que le coût de l'évitement du CO₂ qui en résulte soit compatible avec les prix de marché carbone fixés par le régulateur comme, par exemple, l'ETS européen (*angl.* ETS, *Emission trading system*) et permette ainsi l'émergence d'une filière viable économiquement. Cela passe par la réduction de l'empreinte carbone des procédés de captage, mais aussi par la technologie mise en œuvre dans ces procédés. La technologie exerce une influence sur la structure de coût d'évitement du CO₂, avec une contribution de l'ordre d'un tiers pour un émetteur concentré à 1 million de tonnes par an de CO₂ et qui devient majoritaire quand on descend en dessous de quelques centaines de milliers de tonnes par an, avec un coût d'évitement du CO₂ qui peut être multiplié par 3 ou par 4.

L'objectif de cet appel à projets vise, à terme, la conception de procédés de captage en rupture, sobres en consommation d'énergie et adaptés à une multitude d'usages, du petit émetteur (de l'ordre de la dizaine à la centaine de milliers de tonnes par an), au gros émetteur (million de tonnes par an). La proposition de projets de recherche pourra aborder les axes suivants :

- La modularisation et la standardisation des unités de captage, comme des colonnes à garnissage de capacité fixée, dont la mise en œuvre simplifiée doit permettre une économie d'échelle par le nombre (assemblage de

modules de captage standardisés pour atteindre la capacité requise). Cela peut concerner les technologies actuelles mais aussi les technologies intensifiées ;

- La proposition de matériaux et de standards mieux adaptés au captage de CO₂, en termes de conditions opératoires et de corrosion, en vue d'une réduction des coûts. Une attention particulière sera portée à la durabilité et à la recyclabilité des solutions proposées ;
- La montée en capacité de captage des technologies intensifiées au-delà de 100 000 tonnes de CO₂ par an, telles que les modules membranaires et des contacteurs rotatifs, afin de faire bénéficier les grands émetteurs de ces procédés plus sobres en consommation énergétique et solvants. La levée de verrous, tels que leurs limitations mécaniques, feraient bénéficier ces grands émetteurs en termes de compacité des unités mais aussi de la mise en œuvre de phases de séparation du CO₂, comme les solvants eutectiques profonds ou les liquides ioniques, incompatibles avec les technologies actuelles comme les colonnes à garnissage, par exemple en raison de leur viscosité élevée ;
- L'évaluation technico-économique des solutions proposées afin de comptabiliser leur apport en termes de bénéfices CO₂ par rapport au coût de mise en place des solutions d'évitement.

Idéalement, les meilleures solutions combineront ces différentes approches et s'intégreront dans un schéma d'économie circulaire. Dans cette optique, il sera intéressant de proposer des consortiums qui associent des équipes de recherche pouvant apporter des solutions tels que de nouveaux matériaux et leurs modes de production, de nouvelles techniques de conception des systèmes de captage, dont l'optimisation pourra s'appuyer sur des évaluations technico-économiques. Comme indiqué précédemment, l'émergence de nouveaux standards pour les unités de captage de CO₂ est fondamentale.

Mots-clés : Captage de CO₂, procédés de captage, unités modulaires, matériaux et standards de captage, procédés intensifiés, solvants, évaluation technico-économique

Sous-thématique 5.2 : Matériaux, polymères et carbonates à partir de CO₂

Budget indicatif alloué : 1,6 M€ (1 à 2 projets)

La séquestration du CO₂ sous forme de matériaux de construction ou de biens de consommation suscite aujourd'hui un vif intérêt. La synthèse neutre en carbone de produits utiles et commercialement viables à partir de CO₂, tels que des carbonates organiques et (bio-) inorganiques, pourraient ainsi contribuer à sortir des énergies fossiles, à réduire les émissions de CO₂ dans l'atmosphère et à compenser le coût du captage du CO₂.

Le dioxyde de carbone se minéralise en présence de réactifs alcalins, provenant par exemple de roches naturelles ou de déchets industriels issus de centrales électriques, aciéries et autres industries. Les matériaux carbonés obtenus peuvent constituer une option efficace de stockage à long terme du CO₂, en particulier pour une utilisation dans le domaine du bâtiment. Par ailleurs, la transformation du CO₂ en monomères et en polymères est également un moyen utile de stocker le CO₂, tout en ayant le potentiel de réduire la consommation de ressources fossiles dans la production des plastiques.

Le présent appel à projets vise donc la conversion chimique et biologique du CO₂ en matériaux ou composés dans lesquels ce dioxyde de carbone est stocké de manière pérenne. Cela comprend les monomères organiques et leurs polymères, les produits minéraux et inorganiques tels que les carbonates, ou le carbone solide. La production de ces composés permettra d'accéder à de nouvelles voies de fabrication des plastiques, des matériaux de construction, ciments et granulats, ainsi qu'à d'autres produits ayant une valeur commerciale ou environnementale.

Les propositions devront traiter de la conversion efficace du CO₂ en matériaux permettant l'absorption et le stockage du carbone avec une efficacité énergétique optimisée et sans émissions de CO₂. Sont aussi incluses les études fondamentales abordant de nouveaux modèles thermodynamiques et cinétiques, ainsi que des mécanismes chimiques et biologiques de la minéralisation du CO₂.

Les projets attendus devront être principalement ciblés sur les thématiques suivantes :

- 1) Minéralisation du CO₂ en carbonates et matériaux de construction, ciments et agrégats :
 - a) Développement de nouveaux matériaux de construction, ciments, agrégats capables de fixer le CO₂, en intégrant potentiellement des résidus industriels et substrats naturels ;
 - b) Approches disruptives pour l'amélioration de la cinétique d'absorption du CO₂ dans les minéraux, des processus thermodynamiques et du bilan énergétique global de conversion du CO₂ en carbonates inorganiques à partir d'une source alcaline d'origine naturelle ou industrielle : décryptage des mécanismes mis en jeu dans la minéralisation du CO₂, dissolution inverse associée, établissement de modèles applicables à une large gamme de carbonates.
- 2) Biominéralisation du CO₂ :
 - a) Evaluation du potentiel et compréhension des mécanismes biologiques et moléculaires mis en jeu dans la biominéralisation du CO₂ par les micro-organismes (coccolithophores, cyanobactéries, ...) ;
 - b) Mise au point de mécanismes moléculaires de formation de carbonates alcalino-terreux chez les micro-organismes (photosynthétiques).
- 3) Conversion du CO₂ en monomères et en polymères : optimisation de réactions déjà connues et recherche de nouvelles réactions pour élargir la gamme de produits :
 - a) Réactions de carboxylation et carbonylation, conception de catalyseurs efficaces, pour obtenir de nouveaux monomères et polymères à partir de CO₂ et/ou CO, tels que les carbonates cycliques à 5 et 6 chainons, lactones, polycarbonates, polyesters... ;
 - b) Conversion du CO₂ en urées et formamides réactifs pour permettre la polymérisation ultérieure de ces éléments ;
 - c) Conception et incorporation de liaisons clivables ou échangeables pour faciliter le recyclage.

Mots-clés : Séquestration du CO₂, synthèse matériaux neutre en CO₂, carbonates organiques et (bio-) inorganiques, plastiques, monomères, polymères, matériaux de construction, ciments et agrégats, conversion chimique et biologique du CO₂.

2.2. Principales caractéristiques des projets

Les projets devront présenter clairement l'état de l'art et le niveau de TRL initial, ainsi que le niveau de TRL visé. A titre indicatif, le niveau de TRL visé doit être TRL=4 (voir § 1.2).

Les projets devront définir des indicateurs qualitatifs permettant de mesurer les progrès scientifiques réalisés par rapport à l'état de l'art d'ici la fin prévue du projet et les impacts attendus sur la décarbonation de l'industrie (gain en termes d'émissions de GES, gain en efficacité énergétique, gain en efficacité matière, économie en ressources). Les projets pourront, lorsque cela est pertinent, s'appuyer sur de l'analyse de cycle de vie (ACV). Des indicateurs permettant de vérifier l'atteinte du niveau de TRL final envisagé doivent être clairement définis.

Les projets auront une durée entre 48 et 54 mois.

Chaque projet devra répondre à l'une des 5 thématiques (thématique principale) mais il peut adresser aussi plusieurs thématiques.

2.3. Partenaires

Cet appel à projets est destiné à soutenir des consortiums d'équipes de recherche publique composés d'un nombre minimum de 3 structures de recherche. Les projets attendus devront être portés par un organisme de recherche ou un établissement de recherche et d'enseignement supérieur public français.

Seuls les organismes de recherche et établissements de recherche et d'enseignement supérieur ou des groupements de ces établissements peuvent bénéficier d'une aide financière dans le cadre de cet appel à projets. Cependant, les établissements privés contribuant aux missions de service public de l'enseignement supérieur et de la recherche, relevant de l'article L.732-1 du code de l'Éducation, pourront être financés après analyse par l'ANR, avis du MESR et validation par le SGPI. Procédure de sélection.

Les projets recevables (cf. § 2.4) seront évalués par un comité d'évaluation indépendant à dimension internationale. Ce comité pourra recourir, le cas échéant, à des expertises externes et pourra procéder à une audition des porteurs des projets.

À l'issue de ses travaux, le comité d'évaluation remettra aux directeurs scientifiques du PEPR SPLEEN un rapport comprenant :

- 1) les notes attribuées aux projets évalués selon les critères indiqués au § 2.5,
- 2) la liste des projets que le comité recommande pour financement en raison de leur qualité, évaluée sur la base des critères indiqués au § 2.5,
- 3) la liste des projets que le comité propose de ne pas financer en raison d'une qualité qu'il juge insuffisante sur au moins l'un des critères indiqués au § 2.5.

Chaque projet évalué fera l'objet d'un argumentaire justifiant de sa position sur l'une des deux listes. Le comité pourra formuler un avis sur le montant des financements demandés.

Les directeurs scientifiques du PEPR proposent au Secrétariat Général Pour l'Investissement la désignation des projets qui pourraient être financés et le montant qui pourrait leur être définitivement attribué. Le Premier ministre, après avis du SGPI, arrête la décision concernant les bénéficiaires et les montants accordés. Chaque projet fait l'objet d'un contrat entre l'ANR et l'établissement coordinateur du projet, détaillant les obligations réciproques des parties.

Les membres du comité d'évaluation ainsi que les experts externes sollicités s'engagent à respecter les règles de déontologie et d'intégrité scientifique établies par l'ANR. La charte de déontologie de l'ANR est disponible sur son site internet. L'ANR s'assure du strict respect des règles de confidentialité, de l'absence de liens d'intérêt entre les membres du comité ou experts externes et les porteurs et partenaires des projets, ainsi que de l'absence de conflits d'intérêts pour les membres du comité et experts externes. En cas de manquement dûment constaté, l'ANR se réserve le droit de prendre toute mesure qu'elle juge nécessaire pour y remédier. La composition du comité d'évaluation sera affichée sur le site de publication de l'appel à projets à l'issue de la procédure de sélection.

2.4. Critères de recevabilité

IMPORTANT

Les dossiers ne satisfaisant pas aux critères de recevabilité ne seront pas transmis au comité d'évaluation et ne pourront en aucun cas faire l'objet d'un financement.

- 1) Le dossier de dépôt doit être déposé complet sur le site de dépôt de l'ANR avant la date et l'heure de clôture de l'appel à projets. De plus, le document administratif et financier, qui intègre les lettres d'engagement, signé par chaque établissement partenaire et scannés doivent être déposés sur le site de dépôt de l'ANR à la date et l'heure indiquées en page 3.

- 2) Le document scientifique du projet, rédigé en anglais, doit impérativement suivre le modèle disponible sur le site internet de l'appel à projets et être déposé au format PDF non protégé.
- 3) Le projet aura une durée comprise entre 48 et 54 mois.
- 4) Le montant de l'aide demandée devra être d'un montant minimum de 800 k€ et d'un montant maximal conforme aux montants indicatifs alloués pour chacune des thématiques.
- 5) Un même responsable du projet ne pourra être porteur que d'un seul projet, y compris les projets ciblés.
- 6) L'établissement coordinateur doit être un établissement français d'enseignement supérieur et de recherche.
- 7) Les projets devront impliquer au minimum 3 structures de recherche.
- 8) Sont exclus également les projets qui causeraient un préjudice important du point de vue de l'environnement (application du principe DNSH – Do No Significant Harm ou « absence de préjudice important ») au sens de l'article 17 du règlement européen sur la taxonomie.

2.5. Critères d'évaluation

Les experts externes et les membres du comité d'évaluation sont appelés à examiner les propositions de projet selon les critères d'évaluation ci-dessous regroupés en trois grandes catégories.

1) Excellence et ambition scientifique :

- Clarté des objectifs et des hypothèses de recherche ;
- Caractère novateur, ambition, originalité, rupture méthodologique ou conceptuelle du projet par rapport à l'état de l'art et aux objectifs du PEPR SPLEEN, conformément au §1 ;
- Clarté des indicateurs de progrès par rapport à l'état de l'art ;
- Clarté de l'impact potentiel attendu sur la décarbonation ;
- Pertinence de la méthodologie.

2) Qualité du consortium, moyens mobilisés et gouvernance :

- Compétence, expertise et implication du responsable du projet : capacité à coordonner des consortia pluridisciplinaires et ambitieux, parcours académique, reconnaissance internationale ;
- Qualité et complémentarité du consortium scientifique au regard des objectifs du projet ;
- Adéquation entre les moyens humains et financiers mobilisés (y compris ceux demandés dans le cadre du projet) par rapport aux objectifs visés ;
- Pertinence du calendrier (notamment dans le cadre de projets longs), gestion des risques scientifiques et solutions alternatives, crédibilité des jalons proposés ;
- Pertinence et efficacité de la gouvernance du projet (pilotage, organisation, animation, mise en place de comités consultatifs, etc.).

3) Impact et retombées du projet :

- Capacité du projet à répondre aux enjeux de recherche de l'axe scientifique choisi du PEPR SPLEEN et complémentarité par rapport aux objectifs affichés par les projets ciblés (Cf. Annexe 1) ;

- Impacts économiques, environnementaux et sociétaux, contribution au développement de solutions en réponse aux enjeux des domaines prioritaires de la Stratégie Nationale ;
- Stratégie de diffusion (*in itinere* et *ex post*) et de valorisation des résultats, adhésion aux principes FAIR, Open Science et promotion de la culture scientifique.

3. Dispositions générales pour le financement

3.1. Financement

Les appels financés au titre du PEPR présentent un caractère exceptionnel et se distinguent du financement récurrent des établissements universitaires ou de recherche.

Les financements alloués représentent des moyens supplémentaires destinés à des actions nouvelles. Ils pourront permettre le lancement de projets de recherche innovants, et financer, par exemple, l'achat d'équipements ainsi que des dépenses de personnel affecté spécifiquement à ces projets et de fonctionnement associé.

Les dépenses éligibles sont précisées dans le règlement financier relatif aux modalités d'attribution des aides de l'action PEPR. Le soutien financier sera apporté sous la forme d'une dotation, dont le décaissement est effectué par l'ANR pour l'établissement coordinateur du projet, selon l'échéancier prévu dans le contrat, sur la durée du projet.

3.2. Accords de consortium

Un accord de consortium, qui peut être constitué d'un ensemble d'accords entre l'établissement coordinateur et chacun des établissements partenaires individuellement, précisant les droits et obligations de chaque Établissement partenaire, au regard de la réalisation du projet, devra être fourni par l'Établissement coordinateur dans un délai maximum de 12 mois à compter de la date de signature du contrat attributif d'aide. En cas d'accords multiples, l'Établissement coordinateur se porte garant dans ce cas de la cohérence (absence de clauses contradictoires) de cet ensemble d'accords.

L'ensemble des Établissements partenaires qui affectent des moyens au Projet sont signataires de cet/ces accords même s'ils ne bénéficient pas d'une quote-part de l'aide.

Cet accord précise notamment selon la typologie des projets financés :

- les modalités de valorisation des résultats obtenus au terme des recherches, et de partage de leur propriété intellectuelle ;
- la répartition des tâches, des moyens humains et financiers et des livrables ;
- le régime de publication / diffusion des résultats ;
- la gouvernance, en précisant notamment le nom du responsable du projet pour l'établissement coordinateur ;
- la valorisation des outils et/ou produits pédagogiques numériques réalisés.

L'Établissement coordinateur envoie directement une copie de cet accord, ainsi que celles de ses éventuels avenants, à l'ANR.

Cet accord permettra d'évaluer l'absence d'une aide indirecte octroyée aux Entreprises par l'intermédiaire des établissements d'enseignement supérieur et/ou de recherche.

L'absence de ce document pourra conduire à la cessation du financement du projet et à l'application des dispositions prévues à l'article 6.6 du Règlement Financier (suspension et reversement de l'aide).

L'élaboration d'un accord de consortium n'est pas nécessaire s'il existe déjà un contrat-cadre contenant les dispositions ci-dessus liant les Établissements partenaires. Une copie de ce contrat-cadre ou une attestation devra

être transmise avant la signature du contrat attributif d'aide. À l'expiration dudit contrat, si celui-ci n'est pas reconduit, l'accord de consortium sera alors requis.

3.3. Science ouverte

Dans le cadre de la contribution de l'ANR à la promotion et à la mise en œuvre de la science ouverte, et en lien avec le Plan national pour la science ouverte au niveau français (PNSO) et le Plan S au niveau international, les bénéficiaires de la subvention France 2030 s'engagent à garantir le libre accès immédiat aux publications scientifiques évaluées par les pairs et à adopter, pour les données de recherche, une démarche dite FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable) conforme au principe « aussi ouvert que possible, aussi fermé que nécessaire ». Ainsi, toutes les publications scientifiques issues de projets financés dans le cadre des PEPR, seront rendues disponibles en libre accès sous la licence Creative Commons CC-BY ou équivalente, en utilisant l'une des trois voies suivantes :

- publication dans une revue nativement en libre accès ;
- publication dans une revue par abonnement faisant partie d'un accord dit transformant ou journal transformatif³ ;
- publication dans une revue à abonnement. La version éditeur ou le manuscrit accepté pour publication sera déposé dans l'archive ouverte HAL par les auteur.e.s sous une licence CC- BY en mettant en œuvre la Stratégie de non-cession des droits (SNCD), selon les modalités indiquées dans les conditions particulières de la décision ou contrat de financement.

De plus, l'Établissement coordinateur s'engage à ce que le texte intégral de ces publications scientifiques (version acceptée pour publication ou version éditeur) soit déposé dans l'archive ouverte nationale HAL, au plus tard au moment de la publication, et à mentionner la référence ANR du projet de recherche dont elles sont issues.

L'ANR encourage à déposer les pré-prints dans des plateformes ouvertes ou archives ouvertes et à privilégier des identifiants pérennes ou uniques (DOI ou HAL Id, par exemple). Par ailleurs, l'ANR recommande de privilégier la publication dans des revues ou ouvrages nativement en accès ouvert⁴.

Enfin, l'Établissement coordinateur s'engage à fournir dans les 6 mois qui suivent le démarrage du projet, une première version du Plan de Gestion des Données (PGD) selon les modalités indiquées dans le contrat attributif d'aide.

3.4. Aide d'État

Les aides versées dans le cadre du présent appel à projets sont soumises à l'encadrement européen, c'est-à-dire à l'encadrement des Aides d'Etat à la recherche, au développement et à l'innovation n°2022/C 414/01 du 28 octobre 2022 ou toute communication ultérieure venant s'y substituer. Il s'agit du dispositif d'aide allouée sur la base régime cadre exempté de notification n° SA.58995 d'aides à la recherche, au développement et à l'innovation pris sur la base du règlement général d'exemption par catégorie n° 2014/651 adopté par la Commission européenne le 17 juin 2014 et publié au JOUE le 26 juin 2014, tel que modifié par le Règlement (UE) 2023/1315 du 23 juin 2023 publié au JOUE du 30 juin 2023.

3.5. Suivi des projets par l'ANR

³ Définition d'accord dit [transformant](https://www.coalition-s.org/faq-theme/publication-fees-costs-prices-business-models/) ou [journal transformatif](https://www.coalition-s.org/faq-theme/publication-fees-costs-prices-business-models/) : <https://www.coalition-s.org/faq-theme/publication-fees-costs-prices-business-models/>

⁴ Le site DOAJ (<https://doaj.org/>) répertorie les revues scientifiques dont les articles sont évalués par les pairs et en libre accès. Le site DOAB (<https://www.doabooks.org/>) fait de même pour les monographies.

Dans le cadre du suivi des projets financés par France 2030, des informations sont collectées annuellement pour 1) des indicateurs communs à tous les projets France 2030 opérés par l'ANR (voir Annexe 2.1) et 2) un indicateur commun à tous les projets des PEPR (voir Annexe 2.2). Des indicateurs spécifiques pourront également être conjointement définis à l'échelle des projets.

4. Modalités de dépôt

4.1. Contenu du dossier de dépôt

Le dossier de dépôt devra comporter l'ensemble des éléments nécessaires à l'évaluation scientifique et technique du projet. Il devra être déposé avant la clôture de l'appel à projets, dont la date et l'heure sont indiquées page 3.

IMPORTANT

Aucun élément complémentaire ne pourra être accepté après la clôture de l'appel à projets dont la date et l'heure sont indiquées page 3.

Les documents devront être déposés sur le site de dépôt dont l'adresse est mentionnée page 3. Afin d'accéder à ce service, il est indispensable d'obtenir au préalable l'ouverture d'un compte (identifiant et mot de passe). Pour obtenir ces éléments, il est recommandé de s'inscrire le plus tôt possible.

Le dossier de dépôt complet est constitué de deux documents intégralement renseignés :

- 1) le « document scientifique », d'une longueur maximum de 20 pages, rédigé en anglais, comprenant une description du projet envisagé, selon le format fourni, avec en annexe la liste des publications scientifiques des trois dernières années des chercheurs/équipes proposant le projet ;
- 2) le « document administratif et financier », qui comprend la description administrative et budgétaire du projet et les lettres d'engagement signées par les établissements partenaires.

Les éléments du dossier de dépôt (document administratif et financier au format Excel / modèle de document scientifique au format Word) seront accessibles à partir de la page web de publication du présent appel à projets (voir adresse page 3).

4.2. Procédure de dépôt

Les documents du dossier de dépôt devront être transmis par le responsable du projet **SOUS FORME ÉLECTRONIQUE impérativement** :

- avant la date de clôture indiquée page 3 du présent appel à projets,
- sur le site web de dépôt selon les recommandations en 4.3.

L'inscription préalable sur le site de dépôt est nécessaire pour pouvoir déposer un projet.

Seule la version électronique des documents de dépôt présente sur le site de dépôt à la clôture de l'appel à projets est prise en compte pour l'évaluation.

UN ACCUSÉ DE RÉCEPTION, sous forme électronique, sera envoyé au responsable du projet lors du dépôt des documents.

NB : La signature des lettres d'engagement permet de certifier que les partenaires du projet sont d'accord pour déposer le projet conformément aux conditions décrites dans le document administratif et financier ainsi que dans le document scientifique et ses éventuelles annexes.

4.3. Conseils pour le dépôt

Il est fortement conseillé :

- d'ouvrir un compte sur le site de dépôt au plus tôt ;
- de ne pas attendre la date limite d'envoi des projets pour la saisie des données en ligne et le téléchargement des fichiers (attention : le respect de l'heure limite de dépôt est impératif) ;
- de vérifier que les documents déposés dans les espaces dédiés des rubriques « documents de dépôt » et « documents signés » sont complets et correspondent aux éléments attendus. Le dossier et le dépôt des documents signés ne pourront être validés par le responsable du projet que si l'ensemble des documents a été téléchargé ;
- de consulter régulièrement le site internet dédié au programme, à l'adresse indiquée page 1, qui comporte des informations actualisées concernant son déroulement ;
- de contacter, si besoin, les correspondants par courrier électronique, à l'adresse mentionnée page 3 du présent document.

Annexe 1 : Résumés des projets ciblés du PEPR SPLEEN

DCarbo - Données pour la décarbonation

La décarbonation de l'industrie passe par une meilleure connaissance et maîtrise des émissions de CO_{2eq} de ses sites de production. L'installation de capteurs à des endroits stratégiques et la fourniture de données de processus en temps réel pourraient fournir les informations pertinentes nécessaires pour effectuer une analyse dynamique des émissions de CO_{2eq}, avec une meilleure précision que les approches asynchrones actuelles.

L'enjeu est ici de définir, pour plusieurs types de systèmes de production, la structure appropriée d'acquisition et de collecte des données pertinentes ainsi que les outils associés d'aide à la décision pour la décarbonation.

L'objectif est de proposer des modèles et algorithmes d'intelligence artificielle (IA) pertinents pour chaque point de décision, d'expérimenter et de comparer les différents modèles et algorithmes et d'établir une méthodologie pour la mise en œuvre de ces nouvelles approches dans des contextes industriels réels. L'originalité de ces recherches réside à la fois dans le couplage de différents types d'IA et dans leur application au suivi et au contrôle en temps réel des procédés industriels pour une décarbonation efficace des industries.

Les principales difficultés de ce projet seront liées à la question de trouver le bon niveau d'information/d'instrumentation des processus et à la difficulté de gérer les simulations pour la prise de décision en temps réel ou à court terme.

ACT4IE - Approche systémique et territoriale pour la décarbonation des zones d'activités par l'Ecologie Industrielle et Territoriale

Le projet ACT4IE propose de développer une méthodologie générique permettant d'optimiser, gérer et contrôler les échanges de ressources au sein de territoires en vue de leur décarbonation. Intégré dans le PEPR SPLEEN, ACT4IE entre dans l'axe portant sur le développement d'outils de conception et de pilotage des industries pour la décarbonation des territoires. Ainsi, ce projet multidisciplinaire a pour but, via des concepts d'écologie industrielle et plus largement, d'économie circulaire, de mettre en œuvre des approches d'optimisation pour mutualiser les flux

de ressources entre différents acteurs (industriels, territoriaux, municipalités, particuliers). Les réseaux de ressources sont par essence, multi-énergies, multicritères, multi-acteurs et doivent être étudiés de façon systémique en prenant en compte toute la complexité des échelles d'étude. Une des premières missions sera de faire un état des lieux d'un territoire d'étude afin de déterminer les données qui permettront d'alimenter les modèles développés dans le projet. Par des phases de questionnaires et un travail de terrain important, le but sera de déterminer les données, les échelles de modélisation, le cadre de l'étude et les indicateurs pertinents à considérer dans les modèles d'optimisation et d'aide à la décision. Les modèles d'optimisation systémiques développés seront centrés sur la conception des réseaux d'énergie (électrique, thermique) couplés aux réseaux d'énergies urbains ainsi que sur la conception des réseaux d'échanges de ressources et de matières dans les zones industrielles. Il s'agira de proposer un guide de conception des réseaux internes des entreprises à l'échelle du procédé, les échanges inter-entreprises mais aussi de prendre en compte les technologies disponibles (stockage, production, conversion). Divers outils comme l'optimisation, la théorie des jeux, les modèles multi-agents, l'intégration énergétique ou encore les modèles de représentation devront être combinés de façon à couvrir une grande majorité de cas d'étude. Par la création de synergies sur les territoires, les ressources seront ainsi économisées et l'impact environnemental réduit. Cet impact pourra être évalué et mesuré grâce à des indicateurs pertinents basés sur les analyses de cycle de vie (ACV). Une partie importante du projet consistera également à vérifier la pertinence des solutions obtenues sur plusieurs volets : des analyses de scénarios permettront notamment de définir l'échelle pertinente de mise en place des solutions, la flexibilité des solutions sera également étudiée et enfin, un travail important de prise en compte des incertitudes sera réalisé. Dans un contexte environnemental, énergétique et politique incertain, il est important de développer des méthodes d'optimisation génériques et robustes qui puissent aboutir à des solutions pertinentes en termes pratiques. Des techniques et approches d'optimisation sous incertitudes devront être développées et de fait, l'aide à la décision traditionnelle sera déclinée pour s'adapter au contexte fluctuant et considérer les incertitudes à différents niveaux de décision. Le développement d'un outil numérique et intégré facilement transférable vers le monde industriel mais aussi vers les acteurs des territoires est prévu afin de servir les objectifs de décarbonation. Cet outil numérique sera basé sur l'intégration des modèles développés dans le projet à l'aide de composants hétérogènes tels que la simulation, la cosimulation et les solveurs d'optimisation. Sans se limiter à la seule étude du parc éco-industriel, ACT4IE permettra également de vérifier et d'analyser l'impact des synergies des différents acteurs à l'échelle du territoire. Des modèles multi-agents seront développés pour prendre en compte la diversité des critères des agents du système et le modèle sera conçu de façon modulaire, des briques technologiques pourront y être insérées facilement, au fur et à mesure que la connaissance et l'acquisition de données sur ces briques s'améliore (ex : captage CO₂).

SHIP4D - Chaleur solaire pour la décarbonation des procédés industriels

L'industrie est responsable d'environ 25% des émissions anthropogéniques mondiales de CO₂ et l'énergie qu'elle consomme est majoritairement (plus de 70%) sous forme de chaleur. Dans ce contexte, le projet SHIP4D vise à développer des solutions pour l'intégration de la chaleur solaire dans les procédés industriels. L'objectif principal consiste à remplacer l'usage des combustibles fossiles par l'énergie solaire afin de substituer 30% de l'énergie produite par combustion par l'énergie solaire à l'horizon 2035. Comme la chaleur est utilisée par l'industrie entre 50 et 1500°C, le projet étudie des solutions solaires dans tout ce domaine de température à l'acceptation de la plage 50-150°C pour laquelle des technologies commerciales existent. Des solutions hybrides comme, par exemple, celles associant solaire-électricité sont développées quand les systèmes s'y prêtent afin de proposer des procédés solarisés continus et fiables. Trois types d'approches sont développées afin d'intégrer la chaleur solaire dans les procédés industriels en fonction de leur domaine de température opératoire. La première correspond à une injection de chaleur solaire sans changement notable du système (températures moyennes, 150-400°C). Pour la seconde, l'intégration solaire nécessite de repenser au moins un sous-ensemble du procédé (hautes températures, 600-900°C). Enfin, pour des températures entre 900 et 1500°C, des procédés et réacteurs solaires totalement originaux doivent être imaginés et validés expérimentalement à l'échelle du laboratoire. Ainsi, le développement de solutions solaires innovantes capables de répondre aux besoins industriels entre 150 et 1500°C constitue le défi clé du projet SHIP4D.

Au plan général, les défis scientifiques et technologiques auxquels répond le projet sont les suivants. (1) Le contrôle dynamique de procédés industriels incluant une source de chaleur solaire ou deux sources différentes. (2) L'efficacité des échanges de chaleur vers les procédés et la gestion optimale des flux énergétiques internes aux plans

énergétique, environnemental et économique. (3) Le développement de solutions pour produire, transporter et stocker de la chaleur solaire à hautes températures (600-900°C). (4) La conception et la preuve de concept à l'échelle laboratoire de récepteurs / réacteurs solaires destinés au traitement et recyclage de minéraux et métaux (jusqu'à 1500°C). En d'autres termes, la nature cyclique et variable de la ressource, l'interface entre la source solaire et le procédé, l'hybridation des sources d'énergie thermique et le changement d'échelle sont des défis scientifiques majeurs du projet SHIP4D.

En ce qui concerne la mise en œuvre, des consultations avec des entreprises seront organisées afin de définir en commun les cibles les plus pertinentes.

LCA-SPLEEN - Analyse du Cycle de Vie - Mesures basées sur l'analyse du cycle de vie pour l'industrie et la recherche afin de soutenir la décarbonation des processus industriels tout en minimisant les impacts environnementaux

L'ambition de ce projet est de fournir des métriques aux industriels et à la communauté de recherche en France afin d'accompagner la décarbonation des procédés industriels tout en minimisant le transfert d'impact environnemental, par anticipation puis en temps réel. L'hypothèse de base du projet est que l'analyse du cycle de vie (ACV) est le seul outil normalisé par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) qui offre aux organisations un moyen solide et transparent de faire des déclarations de durabilité environnementale sur leurs processus et produits connexes.

Sur cette base, les objectifs de recherche sont :

- Permettre la comparaison de plusieurs processus industriels visant à la décarbonation de manière cohérente en utilisant une méthodologie basée sur l'ACV
 - Soutenir à l'aide de l'ACV l'optimisation de la décarbonation des procédés industriels actuels tout en minimisant le transfert d'impact environnemental de ces procédés optimisés à différents stades de leur développement et à différentes échelles
 - Accompagner l'optimisation de la décarbonation à l'échelle territoriale des procédés industriels tout en minimisant le transfert d'impact environnemental
- Permettre à l'ACV de réaliser une surveillance des processus en temps réel à l'aide de la modélisation dynamique de l'ACV et de la comptabilité analytique afin de permettre aux industriels de communiquer et d'optimiser en temps réel leur processus et de minimiser leur empreinte carbone ainsi que d'autres impacts environnementaux, le cas échéant

Soutenir les autres axes du PEPR en réalisant des études ACV significatives pour le développement de nouveaux procédés décarbonés, collecter les données ACV associées et valider les outils d'accompagnement basés sur les ACV développées

ECOCHÉM - Réactions éco-efficientes et intensifiées

L'industrie chimique contribue aujourd'hui à 5 % des émissions anthropiques mondiales de CO₂. En moyenne, 1 à 2,5 kg de CO₂ sont émis par kg de produit fabriqué. Considérant que le marché de la chimie croît à un rythme annuel de 3%, les émissions de CO₂ issues de l'industrie chimique augmenteront automatiquement si rien n'est fait. De plus, l'augmentation des taxes sur les émissions de CO₂ (accord de Paris sur le changement climatique) est un moteur économique qui oblige l'industrie chimique à réduire ses émissions de CO₂. Dans ce contexte, la défossilisation de l'industrie chimique est devenue une priorité. Plusieurs stratégies, notamment développées dans le cadre du PEPR SPLEEN, sont désormais explorées : (1) la capture/le stockage du CO₂ et sa conversion en produits chimiques/carburants, (2) l'électrification de l'industrie chimique, (3) l'économie circulaire, (4) l'utilisation de matières premières renouvelables, et (5) la conception de réactions/procédés plus efficaces. ECOCHÉM aborde le dernier point et a pour principal objectif de concevoir des technologies de rupture pour réaliser des réactions/procédés catalytiques de manière plus économe en CO₂ (économie d'atomes, économie d'énergie, sélectivité, etc.). Dans ce contexte, ECOCHÉM abordera deux défis scientifiques majeurs.

(1) La conception de systèmes catalytiques plus efficaces (homogènes et hétérogènes) grâce au développement de technologies radicalement différentes (et durables), ainsi que leur mise en œuvre dans les processus catalytiques afin de développer des réactions/procédés plus efficaces en termes d'émissions de CO₂. Les principaux défis

concernent la recyclabilité des catalyseurs, le développement de réacteurs intensifiés à flux continu et l'hybridation pour les réactions en cascade.

(2) Le développement de réactions catalytiques à plus basses températures. Le couplage de la catalyse avec des outils de promotion auxiliaires (ondes ultrasonores, champs électriques et magnétiques, photons), récemment apparu sous le nom de catalyse assistée, sera exploré. Le principal défi consistera à confiner ces effets "physiques" sur la surface des catalyseurs afin de tirer profit d'un effet de synergie. Afin de minimiser la consommation d'énergétique de ces technologies, c'est-à-dire les émissions de CO₂, l'intensification sera abordée (batch vers continu, microfluidique, processus hybride et multifonctionnel...).

Par conséquent, ECOCHEM abordera les questions scientifiques suivantes :

- Comment optimiser les performances d'un catalyseur (rendement, sélectivité, productivité) tout en gagnant en termes de performance et d'économie de CO₂ ?
- Comment confiner des espèces hautement actives (radicaux, ions, électrons, photons, etc.) sur une surface catalytique, de sorte qu'un effet de synergie puisse se produire (= contrôle de la sélectivité de la réaction) pour réaliser des réactions à des températures plus basses (= plus faible émission de CO₂) ?
- Comment réduire la consommation d'énergie, et donc les émissions de CO₂, des réactions/procédés catalytiques ?

IMOSYCCA - Systèmes modulaires intensifiés pour une capture sans danger du CO₂

Bien que des procédés de captage du CO₂ existent à grande échelle, ils utilisent des solvants potentiellement dangereux pour l'homme ou l'environnement, d'où le classement des sites en SEVESO. L'objectif global du projet IMOSYCCA est de concevoir des unités de capture de CO₂ modulaires, petites et faciles à utiliser destinées à être utilisées par des opérateurs qui ne sont pas familiarisés avec la manipulation de produits chimiques. Cet objectif sera atteint par la conception simultanée de nouveaux solvants d'absorption écologiques et non toxiques et l'utilisation de technologies d'absorption innovantes, à savoir les contacteurs à membrane ou le lit à garnissage rotatif (RPB). L'objectif est d'obtenir un procédé éco-responsable intensifié, prenant en compte la pénalité énergétique et l'impact environnemental et incluant la régénération des solvants.

D'un point de vue procédé, les technologies actuelles sont limitées par les transferts de matière gaz-liquide. L'intensification de procédé se propose, par la compréhension des mécanismes d'échange, d'apporter des solutions mieux adaptées au captage de CO₂. Les contacteurs membranaires seront ainsi équipés de membranes composites avec une fine couche dense qui évite les limitations dues au mouillage de la membrane. Les RPB sont des contacteurs gaz liquide rotatifs, dont la rotation rapide d'un interne spécifiquement adapté permet l'accélération des transferts gaz-liquide. Ces solutions devraient permettre, par rapport aux technologies actuelles, une intensification du procédé de captage de CO₂ conduisant à la réduction de la taille des unités par rapport à l'état de l'art. Ces modules doivent offrir une solution pour une large gamme d'applications pour les petits et moyens émetteurs de CO₂ dans la gamme de 10-100 kt CO₂ évitées par an comme la chimie, la production d'énergie et l'agroalimentaire.

Les défis sont :

- Concevoir des solvants biosourcés, avec une faible toxicité et une bonne opérabilité par des opérateurs non-spécialistes et ayant un faible impact environnemental (volatilité, produits de dégradation, occupation des sols...);
- Concevoir un procédé économe en énergie avec une empreinte énergétique limitée (quantité et qualité d'énergie);
- Proposer une conception de procédés modulaires, utilisant des technologies intensifiées comme les modules à membranes à fibres creuses ou les lits à garnissage rotatifs.

CATALPA - Capture du CO₂ avec une pénalité énergétique basse ou décarbonée

Bien que des procédés de capture du CO₂ performants sont mis en œuvre depuis plus d'une décennie, il est nécessaire d'améliorer encore leur efficacité pour atteindre les objectifs climatiques. Historiquement, des procédés ont été développés pour réduire les émissions de CO₂ de centrales thermiques alimentées par des énergies fossiles. Les procédés actuels les plus matures sont énergivores et nécessitent des températures élevées - typiquement plus de 100°C. Ce projet a pour objectif d'explorer des milieux et procédés séparatifs permettant d'une part d'opérer avec de la chaleur de faible qualité (moins de 100°C), d'autre part d'utiliser de l'électricité décarbonée, dans une perspective moyen-long terme où celle-ci sera abondante. Ce changement doit être intégré dans le mix énergétique des procédés de capture, lequel est dominé jusqu'à présent par l'utilisation d'énergie thermique à haute température.

Il s'agit dans ce projet de mettre au point des milieux et procédés séparatifs innovants permettant d'utiliser de la chaleur perdue (waste heat) de moindre qualité (températures < 100°C) et/ou de l'électricité décarbonée. Les milieux séparatifs sont : des charbons actifs préparés ou modifiés pour adsorber le CO₂, les hydrates de gaz, les réseaux métallo-organiques (ou Metal Organic Frameworks, MOFs), et des solvants (solvants eutectiques profonds ou solvants précipitants), ces milieux pouvant être utilisés de façon combinée. Les procédés examinés, comme ceux utilisant les microondes pour régénérer les adsorbants ou l'électrodialyse, font usage d'électricité décarbonée et réduisent donc l'empreinte carbone de la capture du CO₂.

OXY3C - Captage du CO₂ par des procédés d'oxy-combustion éco-efficients

Dans le scénario de réduction des émissions anthropiques de CO₂, la feuille de route récemment publiée par l'Agence internationale de l'énergie pour la transition vers la neutralité carbone, la capture, l'utilisation et le stockage du CO₂ (CCUS) est toujours mentionnée comme l'un des piliers clés pour atteindre cet objectif dans le secteur industriel. La capture du carbone par oxy-combustion s'inscrit dans la stratégie nationale bas carbone (SNBC) qui vise à atteindre la neutralité carbone en France d'ici 2050. En particulier pour l'industrie de transformation et manufacturière à haute température et émissions de carbone élevées comme le verre, l'acier, la pétrochimie ou les cimenteries pour lesquelles les technologies de capture et stockage du CO₂ sont la seule solution pour réduire considérablement l'empreinte carbone.

L'orientation du projet OXY3C vise à optimiser les processus d'oxy-combustion pour le captage du carbone en tenant compte de la combustion de biomasse en boucle chimique (CLC) et des flammes de gaz naturel (GN) et également de biogaz, intégrant ainsi des solutions adaptées aux émissions négatives en considérant les biocombustibles comme matière première pour la production de chaleur. Il étudiera principalement les besoins d'amélioration en termes d'efficacité, de sobriété et d'impact. OXY3C vise à regrouper diverses expertises pour fédérer une communauté spécialisée sur des questions spécifiques d'oxy-combustion pour les flammes et les processus de boucle chimique.

Le défi scientifique se situe dans la construction de bases de données affinées et fiables à partir de bancs d'essai expérimentaux représentatifs et de simulations et modélisations numériques pour fournir les clés pour le développement de technologies sobres, à haut rendement énergétique applicables à un large éventail d'applications : turbines à gaz, chaudières, verre, acier, centrales électriques, cimenteries, ... OXY3C vise à fournir des résultats directement transférables vers des partenaires industriels pour des développements innovants : code de cinétique chimique, codes de mécanique des fluides numérique avancés, associés à des bases de données fiables. OXY3C développe son effort selon trois axes où des collaborations resserrées seront stimulées : construction de bases de données originales, simulation numérique avancée, modèles cinétiques chimiques. Pour les oxy-flammes, son cadre est la mise au point de nouveaux brûleurs adaptés à l'oxy-combustion, et repensés pour optimiser l'efficacité thermique, produire une grande quantité de CO₂ dans les gaz de combustion appropriée à la capture et limiter les émissions de polluants. La proposition intensifie l'analyse multiphysique basée sur des diagnostics laser avancés pour des mesures in situ et développe une simulation numérique haute-fidélité en gardant à l'esprit le transfert ultérieur à l'industrie (accessibilité, coût). Pour la combustion en boucle chimique, OXY3C vise à couvrir les principaux mécanismes impliqués dans la combustion de la biomasse : transfert des matières premières, réaction hétérogène avec le porteur d'oxygène, en mettant l'accent sur la formation de goudron et de suie. Pour le CLC, le consortium permet une approche globale originale multiphysique des réactions chimiques complexes et du transfert de chaleur combinés dans le réacteur de combustible. Cela inclut le développement de la cinétique pour les principales réactions impliquées : la pyrolyse/gazéification de la biomasse pour contrôler la forte volatilité de la

biomasse, les précurseurs de suie et la formation de suie en considérant pour la première fois la réactivité des hydrocarbures aromatiques polycycliques, et la combustion en contact avec le porteur d'oxygène, et le développement de codes de mécanique des fluides numériques décrivant le comportement de l'écoulement de l'échelle de la particule à celle du réacteur.

Power CO₂ - Propulser la conversion du CO₂ en e-carburants, carburants solaires et synthons chimiques via des énergies renouvelables au-delà de l'état de l'art

L'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 impose de développer une économie circulaire du carbone pour les secteurs économiques où le carbone sera encore un acteur clé, comme le transport à longue distance et les produits chimiques.

Dans ce contexte, s'attaquer à la conversion efficace du CO₂, une molécule cinétiquement et thermodynamiquement stable, en produits de valeur en utilisant des sources d'énergie à faible teneur en carbone telles que la lumière du soleil et l'électricité bas carbone soulève des questions scientifiques et des défis technologiques majeurs. Le projet PowerCO₂ vise à relever les principaux défis inhérents à la conversion du CO₂, tels que : 1) la maximisation de l'absorption du carbone et des électrons dans la production de carburants électriques (cible principale de la Tâche 1 du programme de recherche), 2) l'exploitation de l'ensemble du spectre solaire dans la transformation du CO₂ en carburants solaires (cible principale de la Tâche 2 du programme de recherche), et 3) le déblocage de la formation de structures moléculaires complexes à partir du CO₂ et la découverte de nouvelles voies de réaction pour le CO₂ avec des modes d'activation non conventionnels, tels que plasma et magnéto-induction (cible principale de la Tâche 3 du programme de recherche). Plus précisément les objectifs de chaque tâche sont :

- Tâche 1 : Obtenir une excellente sélectivité pour les intermédiaires stratégiques, notamment pour les carburants liquides et les produits chimiques (MeOH, CO, éthylène, formaldéhyde) à partir de l'électro(bio)conversion du CO₂ avec une efficacité maximale en termes de carbone et d'énergie.
- Tâche 2 : Exploiter l'ensemble du spectre solaire dans la transformation du CO₂ en carburants solaires par l'ingénierie des matériaux (inorganique, organique-inorganique, bio-inorganique) adaptés aux stratégies ciblées (telles que conversion ascendante à deux photons), TRL 1->3.
- Tâche 3 : Réaliser des transformations sélectives efficaces du point de vue du carbone pour obtenir de nouvelles architectures complexes (telles que des hydrocarbure C₅₊, ou amines à longue chaîne), à partir de résultats récents en rupture, qui obtiennent des liaisons C-C à partir de CO₂, mais avec une faible efficacité et dans des chaînes courtes (telles que C₃ dans un carbohydrate borylé), éventuellement par une activation non conventionnelle (plasma, induction magnétique, radiolyse) (TRL 1->3).

Le consortium, construit autour d'un noyau composé des chercheurs et chercheuses ayant obtenu des résultats remarquables dans le domaine de la conversion du CO₂, et renforcé par les experts dans les domaines de pointe ciblés (électro et photo(électro)chimie, conception de matériaux, voies d'activation inhabituelles...), conduit à un projet impliquant 22 équipes de recherche, issues de 8 organismes de recherche. Des jeunes chercheurs et chercheuses (doctorants et post-docs) seront formés tout le long du projet répondant ainsi à l'objectif de renforcer la formation des générations futures dans ce domaine sociétal stratégique. Une liste de livrables précis et 5 jalons ont été identifiés pour permettre le suivi du projet.

Le management du projet via un bureau à trois personnes, les trois responsables de tâches principales (e-carburants, carburant solaires, chimies C₃₊ par nouvelles voies d'activation), issus de trois organismes de recherche dans PowerCO₂ (CNRS, CEA et IFPEN), ainsi que la constitution d'un conseil scientifique interne, impliquant les responsables des sous-projets et d'un groupe opérationnel, impliquant le référent scientifique et administratif de chaque laboratoire permettra le bon déroulement du projet. Des événements au moins annuels d'animation scientifique en réunion plénière sont prévus.

SESAME - Trajectoire socio-technique pour le stockage géologique de CO₂ terrestre en France

Jusqu'à présent, le développement limité des technologies de capture et stockage de CO₂ (CSC) reflète l'incapacité de ses promoteurs à convaincre un large public des avantages de cette technologie. N'entrant dans le débat public qu'à un stade avancé de son développement, le stockage du CO₂ a été discuté dans le cadre de projets spécifiques plutôt que d'être considéré comme une nouvelle technologie d'atténuation du changement climatique. Bien qu'il ait réussi à s'imposer sur le plan politique grâce au financement de la recherche et du développement et aux feuilles de route politiques, le CSC n'a jamais fait l'objet d'un débat public en tant que solution au changement climatique et est resté confiné dans les arènes des experts. L'objectif principal de ce projet de recherche est donc de proposer une méthodologie pour co-construire et mettre en œuvre avec les parties prenantes une feuille de route technologique sur le stockage du CO₂. Une telle méthodologie sera fondée sur une analyse complète des conditions à remplir pour la mise en œuvre de projets, notamment à terre.

Plus précisément, ce projet de recherche analysera et croisera différentes dimensions : les dimensions spatio-temporelles associées à un projet de stockage de CO₂ ; les conséquences de la mise en œuvre future de cette technologie encore assez théorique en France ; la compréhension du rôle, des compétences et des responsabilités de chacune des parties prenantes au déploiement. Le dernier résultat sera une proposition des prochaines étapes pour progresser dans le déploiement de cette technologie, avec la définition d'une mission d'information, de concertation, de co-construction et d'évaluation impliquant les parties prenantes (élus, associations, acteurs de la recherche, porteurs de projets, institutions) pour un projet de stockage terrestre en France.

SESAME vise à proposer une trajectoire pour la mise en œuvre du CSC en France, en engageant toutes les parties prenantes dans un processus de co-construction, en tenant compte de leurs rôles, responsabilités, préoccupations... Ainsi, le projet évite une approche purement technologique et orientée vers le marché pour aborder le développement du stockage du CO₂ de manière transdisciplinaire. Ce processus inclura des recherches sur le stockage du CO₂ en particulier, et plus largement sur la manière dont la décarbonation de l'économie est actuellement mise en œuvre, afin de mieux adapter les recommandations à ce secteur.

Le projet sera organisé autour de 4 tâches de recherche et de quelques actions de recherche transversales.

- La tâche 1 permettra de comprendre l'évolution du cadre du CSC et des coalitions d'acteurs pour ou contre le stockage du CO₂, et leurs conséquences sur la réception par les populations.
- La tâche 2 permettra de définir les conditions d'un débat éclairé incluant toutes les parties prenantes et structuré par un cadre réglementaire favorisant la co-construction.
- La tâche 3 analysera les dynamiques dans les territoires où le CSC est envisagé.
- La tâche 4 proposera des recherches transversales. Elle proposera un dispositif socio-technique innovant qui pourrait aider à faire progresser le dialogue entre les décideurs politiques et les acteurs régionaux. Cela comprendra des recherches sur les raisons de l'échec du dialogue public, et proposera des règles pour favoriser le dialogue.

Ce projet apportera également des conseils sur les prochaines étapes "opérationnelles" à envisager pour progresser dans la définition et la mise en œuvre de la feuille de route du déploiement de la technologie CSC en France.

Annexe 2 : Indicateurs

Annexe 2.1 : INDICATEURS COMMUNS DES PROJETS FRANCE

2030

1. Publications

Publications mentionnant le soutien financier du plan France 2030

2. Brevets

Demandes de brevets déposées

3. Jeux de données

Jeux de données déposés avec API (pour Application Programming Interface)

4. Logiciels

Logiciels déposés

5. Production technologique

Nom de la technologie clé (à sélectionner dans un menu déroulant)	TRL* de départ	TRL* d'arrivée visé	TRL* atteint l'année de collecte	Définir plus précisément la technologie

* TRL : Technology Readiness Level

6. Start-up

Start-up créées

7. Financements externes

Etablissement (coordinateur ou partenaire) ayant perçu le financement externe	Type de financeur	Nom du financeur	Type de financement (monétaire ; non monétaire ; en nature)	Montant perçu pendant l'année

8. Projets soumis / retenus au Conseil européen de la recherche (European Research Council – ERC)

Liste des projets soumis au Conseil européen de la recherche (ERC)

Liste des projets ERC obtenus

9. Ressources humaines

	Personnes physiques mobilisées dans l'année	Dont femmes	ETPT tous genres confondus
Enseignant-chercheur et chercheur (professeur, maître de conférences, directeur de recherche, chargé de recherche)			
Ingénieur de recherche, ingénieur d'études, assistant ingénieur, technicien de recherche et de formation, adjoint technique de recherche et de formation			

10. Formation

	Nombre d'inscrits dans l'année universitaire	Dont Femmes	ETPT tous genres confondus
Inscrits en première année pour une formation Bac+2			
Inscrits en deuxième année pour une formation Bac+2			
Inscrits en première année pour une Licence ou Bac+3			
Inscrits en deuxième année pour une Licence ou Bac+3			
Inscrits en troisième année pour une Licence ou Bac+3			
Inscrits en première année pour un Master			
Inscrits en deuxième année pour un Master			

11. Doctorats

Nombre de doctorats initiés financés au moins pour moitié sur les fonds du projet
Dont nombre de doctorats CIFRE

12. Post-Doctorats

Nombre de post-doctorats initiés financés au moins pour moitié sur les fonds du projet
--

Annexe2.2 : INDICATEUR COMMUN AUX PEPR

Nombre de projets transférés vers des programmes de Maturation / Prématuration



GOVERNEMENT



Contacts

Les renseignements concernant le processus administratif (constitution du dossier, démarches en ligne, taux d'aide) pourront être obtenus auprès de l'ANR par courriel :

PEPR-Decarbonation@agencerecherche.fr