



**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 Manifestation d'Intérêt – Avril 2024

Date de remise des lettres d'intention : Le 30 mai 2024 à 11h00 (heure de Paris)

Date prévisionnelle de remise des dossiers : Le 1<sup>er</sup> octobre 2024 à 11h00 (heure de Paris)

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

**APPEL À MANIFESTATION D'INTERET**

Avril 2024



# Résumé

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 pour la décarbonation de l'industrie 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 de maturité industrielle 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 et par IFP Energies nouvelles (IFPEN).

Le présent Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) est destiné à sélectionner plusieurs projets correspondant aux thématiques de recherche identifiées :

- Thématique 1 : Approche multi-échelles (locale, régionale, nationale et européenne) pour une décarbonation efficace de l'industrie dans une perspective économique et sociotechnique.
- Thématique 2 : Production de froid innovant
- Thématique 3 : Gestion de la chaleur, récupération, valorisation de la chaleur fatale
- Thématique 4 : Procédés pour la décarbonation de l'industrie de l'acier et du ciment.
- Thématique 5 : Monitoring long-terme et quantification pour le stockage de CO<sub>2</sub> onshore.

L'objectif de cet Appel à Manifestation d'Intérêt est de collecter des candidatures d'équipes de recherche ou de préconsortiums d'équipes de recherche, afin d'explorer ces thématiques de recherche et d'obtenir des avancées scientifiques dans le cadre des sujets décrits dans le texte de cet appel.

Les équipes de recherche présélectionnées seront conviées à un workshop au cours duquel les consortiums de projets seront réalisés et les attendus des directeurs de programme seront exposés.

Les réponses attendues pourront se positionner sur plusieurs axes thématiques, dans la mesure où une valeur ajoutée est apportée sur chacune des thématiques choisies.

L'AMI se déroulera en deux phases :

Dans une première phase, obligatoire, des lettres d'intention de six pages seront demandées, sur la base desquelles plusieurs propositions de projets seront retenues après évaluation par un comité d'évaluation du PEPR SPLEEN.

Les équipes de recherche et préconsortiums d'équipes de recherche dont la lettre d'intention aura été présélectionnée seront invités à participer à un workshop, organisé par les co-directeurs de programme, sur la thématique principale dans laquelle s'inscrit la lettre d'intention. Ces workshops permettront de faciliter le regroupement de chercheurs et/ou d'équipes pour former des consortiums pertinents permettant le montage d'un projet.

Dans une deuxième phase, les projets sélectionnés en phase 1 seront appelés à déposer des projets complets, qui seront évalués par un comité d'experts internationaux mis en place par l'ANR.

Dans le cadre d'un processus géré par l'ANR, la décision du Premier Ministre arrêtera la liste des bénéficiaires et les montants accordés.

Les bénéficiaires des aides sont des établissements d'enseignement supérieur et/ou de recherche ou des groupements de ces établissements. 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'Education, pourront être financés après analyse de l'ANR, avis du MESR et validation par le SGPI.

Les entreprises pourront avoir le statut d'établissement partenaire dans les projets mais ne bénéficieront pas de financement au titre de cette participation.

## Mots-clés

Décarbonation de l'industrie, approches sociotechniques et socioéconomiques, gouvernance, transition énergétique, électrification de procédés, monitoring et quantification, froid innovant, acier décarboné, ciment durable, émissions de CO<sub>2</sub>, stockage de CO<sub>2</sub> onshore, gestion, récupération et valorisation de la chaleur.

## Dates importantes

### DATE DE REMISE DES LETTRES D'INTENTION

**Le 30 mai à 11h (heure de Paris)**

sur le site :

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

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

### DATE PREVISIONNELLE DE DÉPÔT POUR LES PROJETS COMPLETS

**Le 1<sup>er</sup> octobre 2024 à 11h (heure de Paris)**

sur le site :

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

## Contacts ANR

[PEPR-Decarbonation@agencerecherche.fr](mailto:PEPR-Decarbonation@agencerecherche.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

<b>Résumé .....</b>	<b>2</b>	4.2. Accords de consortium .....	19
<b>Mots-clés .....</b>	<b>3</b>	4.3. Science ouverte.....	20
<b>Dates importantes .....</b>	<b>4</b>	4.4. Aide d'État.....	20
<b>Contacts ANR .....</b>	<b>4</b>	4.5. Suivi des projets et communication .....	21
<b>1. Contexte et objectifs de l'appel à manifestation d'intérêt.....</b>	<b>6</b>	<b>5. Modalités de dépôt.....</b>	<b>21</b>
1.1. Contexte.....	6	5.1. Contenu du dossier de dépôt	21
1.2. Objectifs de l'appel à manifestation d'intérêt.....	7	5.2. Procédure de dépôt	22
1.3. Rôle des directeurs du PEPR ..	7	5.3. Conseils pour le dépôt	22
1.4. Calendrier	9	<b>6. Annexes.....</b>	<b>22</b>
<b>2. Thématiques de de l'appel et projets attendus .....</b>	<b>10</b>	<b>Annexe 1 : Résumés des projets ciblés du PEPR .....</b>	<b>22</b>
2.1. Thématiques	10	<b>SPLEEN</b>	
2.2. Principales caractéristiques des lettres d'intention	15	<b>Annexe 2 : Thématiques du premier appel à manifestation d'intérêt du PEPR SPLEEN .....</b>	<b>29</b>
2.3. Partenaires	15	<b>Annexe 3 : Indicateurs</b>	
<b>3. Examen des projets proposées .....</b>	<b>16</b>	Annexe 3.1 : INDICATEURS COMMUNS DES PROJETS FRANCE 2030 .....	29
3.1. Procédure de selection de lettres d'intention (phase 1)	16	1. Publications.....	29
3.2. Critères de recevabilité de la phase 1	16	2. Brevets.....	30
3.3. Critères d'analyse des dossiers de réponse à la phase 1	16	3. Jeux de données .....	30
3.4. Critères de recevabilité des projets complets (phase 2)	17	4. Logiciels .....	30
3.5. Critères d'évaluation des projets complets (phase 2)	17	5. Production technologique ....	30
3.6. Procédure de sélection des projets complets (phase 2)	18	6. Start-up.....	30
<b>4. Dispositions générales pour le financement.....</b>	<b>19</b>	7. Financements externes .....	30
4.1. Financement .....	19	8. Projets déposés / retenus au Conseil européen de la recherche (European Research Council – ERC) .....	30
		9. Ressources humaines .....	30
		10. Formation .....	31
		11. Doctorats.....	31
		12. Post-Doctorats.....	31
		<b>Annexe 2.2 : INDICATEUR COMMUN AUX PEPR .....</b>	<b>31</b>

# 1. Contexte et objectifs de l'Appel à Manifestation d'Intérêt

## 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 « 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 et ambitieux, 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 de maturité industrielle 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 du PEPR SPLEEN 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 les ensembles productifs et avec les territoires (ensembles urbains notamment).

Le premier axe ci-dessus revêt très clairement d'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 CO<sub>2</sub>.
- **Traitement du CO<sub>2</sub> :**
  - par conversion en molécules d'intérêt (chimie) ou carburants ou matériaux (carbonates, polymères) ;

- par séquestration géologique onshore 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-efficente visant à améliorer l'efficacité énergétique et matière des conversions, l'intensification des procédés de captage et de séparation du CO<sub>2</sub> visant à les rendre énergétiquement plus efficaces et éco-efficents, l'amélioration des procédés basés sur l'oxy-combustion visant à concentrer les flux de CO<sub>2</sub>, la conversion du CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> onshore, en France. Un résumé de chaque projet ciblé est fourni en Annexe 1.

Un Appel à Projets, lancé en janvier 2024, doit également permettre de faire émerger de nouveaux projets en couvrant les quatre axes thématiques du PEPR.

## 1.1. Objectifs de l'Appel à Manifestation d'Intérêt

**Cet Appel à Manifestation d'Intérêt** du PEPR SPLEEN vise à favoriser l'émergence et la construction de projets de recherche destinés à répondre aux enjeux scientifiques associés à cinq thématiques identifiées lors de la construction du programme, couvrant ses quatre axes et en faisant largement appel aux communautés scientifiques concernées, tout en encourageant une démarche interdisciplinaire. Il vise à collecter des manifestations d'intérêt sous la forme de lettre d'intention (**phase obligatoire**), d'équipes de recherche et de pre-consortium d'équipes, dans le but de construire des projets qui seront évalués par un comité d'évaluation organisé par l'ANR. Cet Appel à Manifestation d'Intérêt est doté d'un montant global est de 12M€.

## 1.2. Rôle des directeurs du PEPR

Les directeurs de programme sont en charge, en lien avec l'ANR, de la préparation du texte décrivant les objectifs, le périmètre scientifique et les thèmes de l'Appel à Manifestations d'Intérêt. Ils assurent la cohérence de cet appel avec l'ensemble des autres actions du programme, dont les dix projets ciblés déjà lancés et l'Appel à Projets lancé en janvier 2024 (projets déposés en cours d'évaluation).

Dans une première phase, obligatoire, des lettres d'intention de six pages seront demandées, sur la base desquelles plusieurs propositions de projets seront retenues après évaluation par un comité d'évaluation interne du PEPR SPLEEN. Ce comité est composé par les membres du comité opérationnel du PEPR, par le président du comité constitué pour l'évaluation des projets finaux issus des lettres d'intention sélectionnées et par le Coordonnateur de la stratégie nationale "Décarbonation de l'Industrie" pour le Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI).

Les équipes de recherche et préconsortiums d'équipes de recherche dont la lettre d'intention aura été présélectionnée seront invités à participer à un workshop, organisé par les co-directeurs de programme,

---

sur la thématique principale dans laquelle s'inscrit la lettre d'intention. Ces workshops permettront de faciliter le regroupement de chercheurs et/ou d'équipes pour former des consortiums pertinents permettant le montage d'un projet.

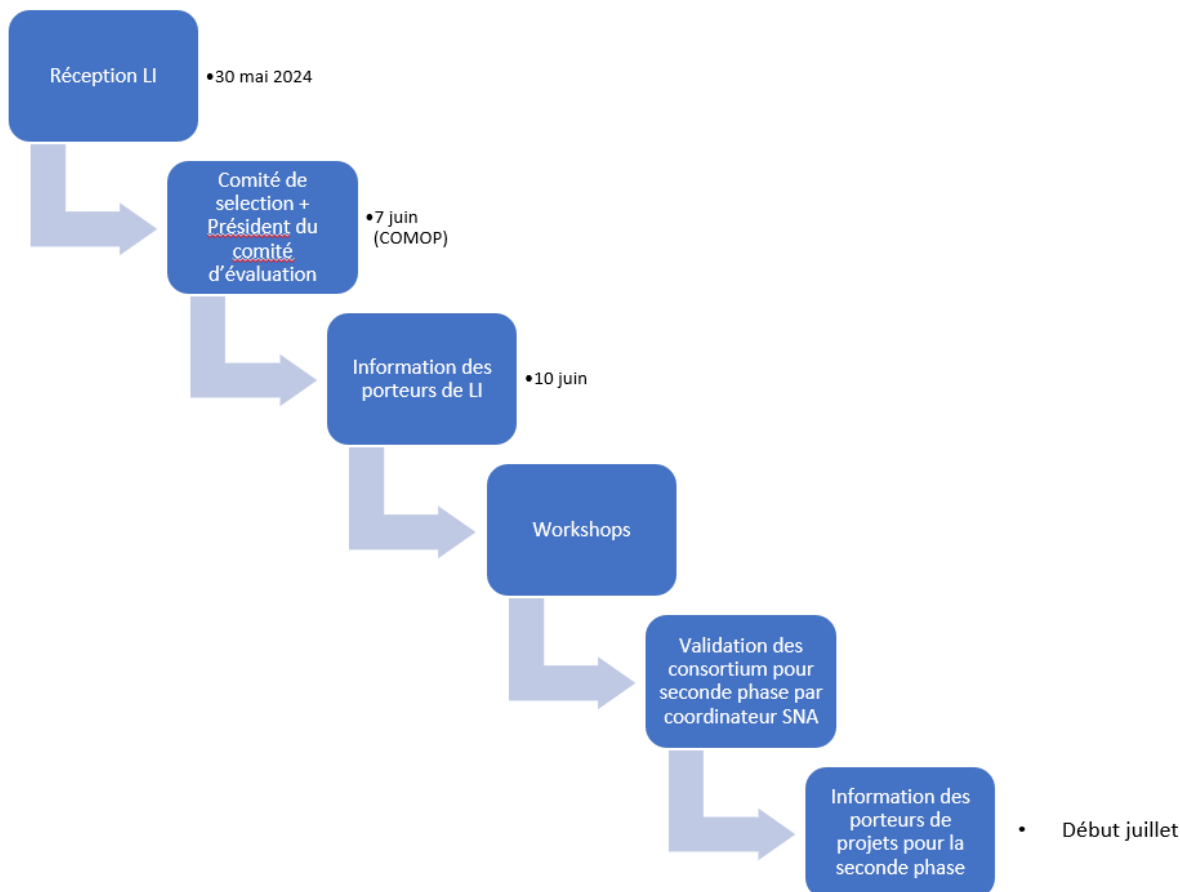
Dans une deuxième phase, à l'issue des workshops, les consortiums constitués seront invités à déposer un projet complet, qui sera ensuite évalué par un comité d'évaluation ad hoc, organisé par l'ANR.

À l'issue de cette phase, les directeurs de programme proposeront au Secrétariat Général Pour l'Investissement et au Comité de Pilotage Ministériel Opérationnel (CPMO) la désignation de projets qui pourraient faire l'objet d'un financement.

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 coordonnateur 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 prématuration et de maturation), mais également d'évoquer les points relatifs aux ressources humaines et financières, ainsi que des difficultés éventuellement rencontrées.



### 1.3. Calendrier



Cet Appel à Manifestation d'Intérêt du PEPR SPLEEN se déroulera selon le calendrier suivant :

- 30 avril 2024 : Publication de l'AMI par l'ANR.
- 30 mai 2024 : Clôture de la procédure de dépôt des lettres d'intention.
- 7 juin : Présélection à l'occasion du COMOP du PEPR SPLEEN.
- 15 juin 2024 : Information des lettres d'intention présélectionnées.
- 19, 24, 25, 26 juin 2024 : Organisation des workshops et proposition de consortiums.
- Fin juin/début juillet : Information des porteurs des projets sélectionnés pour le dépôt de projets complets

Les workshops thématiques sont programmés aux dates présentées dans le tableau ci-dessous. Ils se dérouleront en distanciel (le lien de connexion sera transmis à l'issue de l'information des lettres d'intention présélectionnées). La présence du porteur de la lettre ou de son représentant est obligatoire.

19 juin matin	Workshop thématique 1 : Approche multi-échelles (locale, régionale, nationale et européenne) pour une décarbonation efficace de l'industrie dans une perspective économique et sociotechnique.
19 juin après-midi	Workshop thématique 2 : Production de froid innovant.

24 juin après-midi	Workshop thématique 3 : Gestion de la chaleur, récupération, valorisation de la chaleur fatale.
25 juin matin	Workshop thématique 5 : Monitoring long-terme et quantification pour le stockage de CO <sub>2</sub> onshore.
26 juin matin	Workshop thématique 4 : Procédés pour la décarbonation de l'industrie de l'acier et du ciment.

- De fin juin/début juillet à début octobre 2024 : Rédaction des projets complets.
- Octobre - Novembre 2024 : Evaluation des projets complets par le comité d'évaluation ANR.
- Décembre 2024 : Validation des projets après décision du Premier Ministre.

## 2. Thématiques de l'Appel et projets attendus

### 2.1. Thématiques

Cet Appel à Manifestation d'Intérêt comporte cinq thématiques :

- Thématique 1 : Approche multi-échelles (locale, régionale, nationale et européenne) pour une décarbonation efficace de l'industrie dans une perspective économique et sociotechnique.
- Thématique 2 : Production de froid innovant.
- Thématique 3 : Gestion de la chaleur, récupération, valorisation de la chaleur fatale.
- Thématique 4 : Procédés pour la décarbonation de l'industrie de l'acier et du ciment.
- Thématique 5 : Monitoring long-terme et quantification pour le stockage de CO<sub>2</sub> onshore.

Ces thématiques sont décrites ci-dessous. Une lettre d'intention pourra se positionner sur plusieurs thématiques dans la mesure où une valeur ajoutée est apportée pour chacune des thématiques choisies.

#### **Thématique 1 : Approche multi-échelles (locale, régionale, nationale et européenne) pour une décarbonation efficace de l'industrie dans une perspective économique et sociotechnique**

Les contributions pourront faire appel aux champs disciplinaires suivants, sans caractère d'exhaustivité : sociologie, philosophie, économie, économétrie, modélisation, prospective, sciences de la gestion, sociologie des organisations, psychologie, psychologie sociale, sciences politiques...

L'industrie représente un des principaux secteurs d'activité émetteurs de gaz à effet de serre (GES). Elle occupe une place particulière dans la transition bas-carbone puisqu'elle doit décarboner sa production, tout en adaptant cette dernière aux besoins des autres secteurs de l'économie pour permettre leur propre décarbonation. Le secteur doit de plus concilier d'autres enjeux tels que ceux liés à la souveraineté et à la (re)localisation des activités sur le territoire, la croissance de l'emploi et des compétences, le pouvoir d'achat des ménages, ainsi que la diminution des autres impacts environnementaux et sociaux.

La décarbonation de l'industrie doit donc être abordée dans une perspective systémique et multi-échelle, en interrogeant l'ensemble des transformations nécessaires au sein des entreprises industrielles et leurs interactions avec le reste de la société. De quelles natures seront ces transformations (technologie, gouvernance, relocalisation, reconversion, économie circulaire, low-tech, sobriété) ? Quels seront leurs impacts sociaux, environnementaux, économiques ou géopolitiques ? Comment mettre en place les processus de gouvernance et l'ensemble des procédures réglementaires (normes, labellisation carbone, tarification carbone, achats publics ciblés, responsabilité sociale des entreprises, incitations ou participation citoyenne) ? Comment préserver la justice sociale et les équilibres territoriaux dans la dynamique de décarbonation ?

Cet AMI vise à faire émerger des projets qui aborderont les aspects sociotechniques et économiques de la transition bas-carbone du secteur industriel, avec une approche multi-échelle. Ces projets s'inscriront dans le cadre de l'économie circulaire et considèreront autant le volet de l'offre que celui de la demande, étroitement lié à la question de la sobriété. Les lettres d'intention pourront concerner les items suivants :

1. **Modélisation et méthode** (scénarisation, simulation, évaluation d'impacts, estimation des coûts publics et privés, intégration des innovations, outils d'aide à la décision, économie comportementale et expérimentale...)
2. **Politiques publiques et impacts** (soutien au déploiement de solutions bas-carbone, labellisation, incitations, évaluation des impacts, transition équitable et accompagnement des acteurs de l'industrie...)
3. **Stratégie et financement de la transition** (nouveaux marchés et modèles d'affaires, finance verte et orientation vers des investissements durables, marchés carbone, coordination européenne, gouvernance multi-échelles, conséquences géopolitiques...)
4. **Transformations sociétales et organisationnelles** (sobriété et modes de vie, justice sociale, implications à l'échelle des territoires, impacts sur l'organisation du travail et des entreprises...)

*Mots-clés : décarbonation industrielle, modélisation, évaluation des impacts, estimation des coûts, outils d'aide à la décision, politiques publiques, gouvernance multi-échelle, transition équitable, incitations publiques, étude comportementale, équilibres géopolitiques des territoires, nouveaux marchés et modèles d'investissements*

## **Thématique 2 : Production de froid innovant**

Les procédés énergétiques, systèmes thermiques ou thermodynamiques, notamment utilisés dans l'industrie, nécessitent en général un point froid. La température ambiante (air ou eau), largement utilisée, n'est pas toujours suffisante et il est souvent nécessaire de générer un point froid à un niveau de température plus faible.

Des contributions sont attendues sur la production d'un point froid efficace par des technologies plus innovantes que le classique cycle à compression mécanique de vapeur. Les contributions proposées devront impérativement faire la démonstration de leur adaptabilité pour une utilisation sur des procédés industriels et peuvent inclure :

Production de froid par sorption : amélioration des composants (évaporateur, condenseur, générateur, absorbeur, ...), formulation de fluides de travail innovants, optimisation des cycles et des systèmes afin d'augmenter le rendement et réduire les quantités de fluide nécessaire.

Refroidissement radiatif : contrôle et optimisation des propriétés radiatives sur un large spectre pour concevoir des revêtements réfléchissant dans le spectre du rayonnement solaire et fortement émetteurs dans l'IR. Conception et optimisation de systèmes à point froid à  $\approx 300$  K, par transfert thermique radiatif direct avec l'espace.

Geocooling : interaction sondes/sol, écoulements souterrains, pilotage et préservation de la ressource, intégration dans un parc industriel dans un but de stockage thermique de grande capacité (incluant la possible mutualisation entre acteurs ayant des besoins en froid et/ou moyens de productions de froid).

*Mots-clés* : point froid des systèmes thermiques et thermodynamiques, production de froid, froid radiatif, géocooling.

### **Thématique 3 : Gestion de la chaleur, récupération, valorisation de la chaleur résiduelle**

Les procédés industriels impliquent par nature des échanges de chaleur de toutes natures ; cela conduit à des pertes thermiques (chaleur résiduelle) qui réduisent l'efficacité énergétique de ces procédés. En France, la chaleur résiduelle  $> 100^\circ\text{C}$  représente 51 TWh d'une consommation énergétique globale de 270 TWh pour le secteur industriel. Si le potentiel facile à valoriser (fumées propres à haute température) est déjà en partie exploité, il reste nécessaire de proposer des solutions innovantes pour étendre les possibilités d'applications industrielles.

Des contributions sont attendues dans quatre champs thématiques, qui peuvent se recouper :

1. Valorisation des sources à basse température sur des procédés à plus haute température ( $>180^\circ\text{C}$ ) :
  - Pompes à chaleur à compression mécanique « Très Haute Température » : formulation du fluide de travail, composants, comportement dynamique du système, ou tout autre aspect en rupture ;
  - Transformateurs thermiques (par absorption ou thermochimiques) : couples de travail (absorbant/absorbeur ou gaz/sel), intensification des transferts de chaleur et de masse à l'échelle des composants, comportement dynamique du système.
2. Extraction efficace de chaleur par l'amélioration des transferts thermiques en contact direct ou indirect du fluide caloporteur avec le procédé : fluides de refroidissement (eau, autres fluides, mélanges, émulsions, ...), configurations d'écoulement innovantes pour l'intensification des transferts de chaleur, intensification par texturation des surfaces en anticipant la durabilité, le coût et disponibilité des matériaux. Au-delà de ces approches locales traitant des transferts de chaleur et des écoulements, il sera également important de considérer le système complet, permettant notamment de réutiliser la chaleur extraite.
3. Conversion de chaleur en électricité s'appuyant sur de nouveaux concepts ou de nouvelles technologies, basés sur des cycles thermodynamiques innovants, avec un meilleur rendement.
4. Échangeurs de chaleur pour la récupération de la chaleur fatale dans un contexte industriel : encrassement et vieillissement (surfaces autonettoyantes, prévention de la corrosion, détection, prévision et gestion de l'encrassement, ...) ; récupération de chaleur sur des solides chauds ; matériaux et surfaces pour 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.
5. Stockage thermique et géothermique (stockage journalier dans des réservoirs en surface, stockage à plus long terme de type géothermique) : fluides de transfert et couplage avec les matériaux de stockage ; optimisation des transferts dans les dispositifs de stockage ; matériaux de stockage (en prenant notamment en compte la corrosion, l'attrition, la compaction, le vieillissement, ...).

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

#### **Thématique 4 : Procédés pour la décarbonation de l'industrie de l'acier et du ciment**

Responsables respectivement de 24% et 12% des émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'industrie française, la sidérurgie et l'industrie du ciment sont des émetteurs majeurs et des industries réputées difficiles à décarboner, du fait des hautes températures (plus de 1500°C) atteintes dans leurs procédés d'élaboration et du procédé en lui-même émetteur.

Cet AMI vise à faire émerger des projets qui lèveront des verrous scientifiques identifiés ou aideront à valider de nouvelles solutions. La thématique est divisée en deux sous-thématiques.

**Sur la sous-thématique « décarbonation des procédés de production de l'acier »,** des contributions sont attendues sur les thèmes et sujets suivants :

- Réduction directe du minerai de fer : spécificités de la réduction par l'hydrogène ou par plasma d'hydrogène ; boulettes et minerais adaptées ; optimisation des conditions opératoires et prédimensionnement des installations par modélisation des systèmes (dont la CFD) ; comparaison des gaz réducteurs décarbonés (hydrogène pur, syngas issu de la biomasse, syngas issu des déchets) ; nouveaux matériaux pour les fours utilisant l'hydrogène.
- Utilisation de carbone biosourcé : qualités du biochar pour une utilisation dans la réduction directe, au haut fourneau, au four électrique ; adéquation et potentiel des ressources correspondantes ; optimisation de la production en vue de l'intégration sidérurgique ; production simultanée de biochar et de syngas.
- Intégration des nouveaux procédés : optimisation (y compris énergétique) des usines intégrées avec l'introduction de fours de réduction directe, ou après l'introduction d'unités de carbonisation ou de production de gaz de synthèse à partir de biomasse ou de déchets ; quantification des impacts/bénéfices environnementaux des nouveaux procédés, par exemple par analyse de cycle de vie (ACV) comparative.
- Four à arc électrique : optimisation des fours pour l'utilisation de DRI (Direct Reduced Iron) sans carbone, réduction par plasma d'hydrogène en four électrique.
- Électrolyse directe du minerai de fer, à froid ou à chaud : matières premières acceptables, passage du fer électrolytique à l'acier, du kg au million de tonnes.

**Mots-clés :** *décarbonation, acier, sidérurgie, réduction directe, hydrogène, plasma hydrogène, électrolyse du minerai de fer, syngas issu de biomasse, modélisation, intégration des procédés, ACV des procédés.*

**Sur la sous-thématique « Nouvelles formulations de ciment haute performance bas carbone »,** les contributions devront contribuer, grâce à des activités de recherche pouvant mêler expérimentation, modélisation et simulation numérique, à la formulation de ciment à haute performance pouvant avoir des fonctionnalités supplémentaires, tout en réduisant son impact CO<sub>2</sub>, soit pendant la fabrication de la phase anhydre (ciment) et/ou en produisant un hydrate de ciment plus durable. Ces matériaux pourraient être obtenus par le recyclage de composés et/ou de déchets provenant d'autres secteurs industriels, dans une approche composite, pouvant inclure des fibres, des particules et de manière plus générale des ajouts de matériaux métalliques, céramiques, minéraux, synthétiques, naturels ou biosourcés ou encore des déchets de béton carbonaté.

Des contributions attendues sur le procédé d'élaboration de ciments composites ou des hydrates de ciment, ayant des priorités fonctionnelles utiles pour les applications, telles que (sans exhaustivité) : propriétés mécanique, électrique, thermique, acoustique, de durabilité (fluage, fatigue, fracture...), d'auto-réparation.

Il sera également important de prendre en compte de la dépendance aux matières premières, et leur disponibilité, le bilan énergétique, ainsi que l'intégralité du cycle de vie, dont la recyclabilité.

**Mots-clés :** *propriétés fonctionnelles, recyclable, composites, composites polymère-ciment, céramiques, matériaux biosourcés, matériaux naturels, minéraux, géopolymères, fibres, particules.*

### **Thématique 5 : Monitoring long terme et quantification pour le stockage de CO<sub>2</sub> onshore**

Les contributions pourront faire appel aux champs disciplinaires suivants, sans caractère d'exhaustivité : géosciences, instrumentation, simulation dynamique, ingénierie des systèmes, droit, gestion des risques, sciences participatives, ...

Le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> sont une des technologies permettant de parvenir à la décarbonation durable du secteur industriel. Même si la plupart des sites de stockage en développement en Europe sont localisés en mer du Nord, des sites à terre seront également nécessaires pour fournir des options à toutes les industries émettrices. Un enjeu majeur demeure cependant : il concerne la sécurité à long terme des stockages et sa perception par les populations. Pour cela, des protocoles de surveillance à long terme des sites (au cours de l'exploitation et post-fermeture) seront nécessaires, qui fourniront en toute transparence les informations sur le comportement du CO<sub>2</sub> stocké dans le sous-sol, et ainsi vérifier l'efficacité du stockage et rassurer les parties prenantes. Ces protocoles devront plus particulièrement permettre :

- De vérifier l'absence de fuite ou détecter les irrégularités significatives et/ou leurs conséquences (perte d'intégrité des barrières, détection des fuites, évaluation des impacts) ;
- De vérifier que le CO<sub>2</sub> évolue vers une stabilité à long terme, notamment par des mécanismes de piégeage dont la cinétique sera évaluée ;
- De convaincre les parties prenantes de la maîtrise de l'opération de stockage pour rassurer et gagner la confiance des populations locales.

Notons qu'en cas de fuite, il sera nécessaire de quantifier la quantité rejetée dans l'atmosphère, et l'incertitude associée, en application de la directive Européenne ETS (Emissions Trading System).

Cet AMI vise à faire émerger des projets qui aborderont dans toutes leurs dimensions (technique, économique et sociale) la question de l'évaluation de la performance et de la surveillance du stockage de CO<sub>2</sub> sur le long-terme. Ces projets devront proposer une approche intégrée répondant aux besoins opérationnels de quantification du CO<sub>2</sub> stocké et de surveillance, aux exigences réglementaires et aux préoccupations des parties prenantes de la société. Les contributions pourront concerner les thématiques suivantes :

1. **Conception et prototypage de systèmes de surveillance intégrée à long terme** (protocoles d'acquisition de données complémentaires, chaînes de traitement et d'interprétation, fusion de données, systèmes d'alerte et d'aide à la décision...) pour répondre aux objectifs cités ci-dessus :

évaluation de la performance du stockage, conformité, qualité du confinement, détection & quantification des fuites et de leur incertitude ;

2. **Plateformes de visualisation** permettant d'informer différents utilisateurs finaux sur l'évolution de la performance et de la sécurité du stockage, y compris le grand public ;
3. **Protocoles de surveillance participative** (incluant les modalités de co-construction de ces protocoles), et définition d'indicateurs de suivi. Évaluation de l'effet d'approches participatives sur la perception du stockage à terre.

*Mots-clés : stockage de CO2 ; monitoring quantitatif ; impacts ; intégration ; sécurité*

## 2.2. Principales caractéristiques des lettres d'intention

Les manifestations d'intérêt à l'appel, qui se matérialiseront sous la forme de lettre d'intention, pourront se positionner sur plusieurs thématiques proposées (§ 2.1) dans la mesure où une valeur ajoutée est apportée sur chacune des thématiques choisies.

Les dépôts devront couvrir le plus largement possible le périmètre de la thématique. Elles émaneront de d'équipes de recherches ou de pré-consortium d'équipes de recherche et dans tous les cas elles devront clairement identifier un porteur scientifique.

Selon le modèle disponible, les déposants présenteront succinctement leurs travaux antérieurs, les compétences qu'ils peuvent apporter sur la thématique, en mentionnant l'état de l'art, les objectifs poursuivis, la méthodologie de recherche ainsi qu'une description des compétences complémentaires recherchées. Dans le cas d'une lettre d'intention comportant un pré-consortium d'équipes de recherche, les compétences des équipes partenaires, leurs apports, leurs complémentarités. Le dossier ne devra pas dépasser six pages.

## 2.3. Partenaires

Cet Appel à Manifestation d'Intérêt est destiné, à l'issue de la phase préliminaire de sélection des lettres d'intention, à soutenir des consortiums d'équipes de recherche publique composés d'un nombre minimum de trois structures de recherche. Les projets attendus, issus des regroupements effectués à l'issue des workshops, 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 Manifestation d'Intérêt. 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.

## 3. Examen des projets proposées

### 3.1. Procédure de sélection de lettres d'intention (phase 1)

Les principales étapes de la procédure de l'AMI sont les suivantes :

- Dépôt des lettres d'intention sur le site dédié de l'ANR
- Examen de la **recevabilité** des lettres d'intention par l'ANR, selon les critères explicités au § 3.2;
- Les lettres d'intention pour cet AMI devront décrire :
  - l'état de l'art et les opportunités que représente le projet ;
  - les compétences apportées, pouvant contribuer à la thématique, par le porteur et le cas échéants par les structures qui contribuent (cas des préconsortiums) ;
  - les compétences complémentaires nécessaires à la réalisation du projet envisagé ;
- Les lettres d'intention pour cet AMI devront contenir ;
  - une sélection de publications des équipes concernées durant les trois dernières années ; les CV courts du porteurs de la lettre d'intention et le cas échéant des principaux scientifiques associés.

L'analyse et la sélection des lettres d'intention seront confiées aux directeurs du PEPR SPLEEN, appuyé par le comité opérationnel de SPLEEN et en associant le président du comité d'évaluation organisé par l'ANR et le Coordonnateur de la Stratégie Nationale "Décarbonation de l'Industrie" pour le Secrétariat Général pour l'Investissement.

Chaque lettre analysée fera l'objet d'un argumentaire expliquant les raisons de son positionnement. À l'issue de la phase de workshops destinée à monter les consortiums, les directeurs de programme proposeront aux consortiums d'équipes de recherche sélectionnés de déposer un projet complet.

### 3.2. Critères de recevabilité de la phase 1

- 1) Le dossier doit être déposé complet sur le site de dépôt de l'ANR avant la date et l'heure de clôture de l'appel à manifestation d'intérêt.
- 2) Le dossier pour l'AMI doit être impérativement au format PDF non protégé et ne pas dépasser six pages, annexes bibliographique et CV courts compris (taille de police minimum : 11, Times New Roman ou équivalent, rédigée en anglais).
- 3) Sont exclus également les propositions 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.

### 3.3. Critères d'analyse des dossiers de réponse à la phase 1

- Le dossier proposé doit **entrer dans le champ** de l'appel décrit au § 2.1.
- Reconnaissances du porteur de la lettre d'intention pour ses travaux antérieurs et le cas échéant des autres scientifiques impliqués.
- Clarté des compétences et de la contribution apportée à la thématique.



### 3.4. Critères de recevabilité des projets complets (phase 2)

- 1) Le dossier de dépôt complet doit être déposé sur le site de dépôt de l'ANR avant la date de clôture indiquée page 4. 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 4.
- 2) Le document scientifique du projet doit impérativement suivre le modèle disponible sur le site internet de l'Appel à Manifestation d'Intérêt 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 ne pourra pas être inférieur à 800 000€.
- 5) L'établissement coordinateur doit être un établissement français de l'enseignement supérieur et de la recherche.
- 6) Sont exclus 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.

### 3.5. Critères d'évaluation des projets complets (phase 2)

Pour l'évaluation finale des projets qui seront déposés à l'issues de la phase initiale de sélection des lettres d'intention et du workshop, les critères d'évaluation sont donnés pour orienter les porteurs lors de la rédaction de leur dossier de réponse à l'AMI.

Des indicateurs de progrès par rapport à l'état de l'art seront explicitement demandés. Pour les projets issus des lettres d'intention déposées sur les thématiques 2, 3 et 4, les projets devront, dans la mesure du possible, atteindre TRL 4.

Les membres du comité d'évaluation et les experts externes 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 ;
- Pertinence de la méthodologie.

#### 2) Qualité du consortium, moyens mobilisés et gouvernance :

- Compétence, expertise et implication du responsable du projet : capacité à coordonner des consortiums 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 la thématique scientifique choisi ; en particulier ;
- Impacts économiques et sociétaux, contribution au développement de solutions en réponse aux enjeux des domaines prioritaires de la Stratégie Nationale d'accélération « décarbonation de l'industrie » ;
- 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.

## 3.6. Procédure de sélection des projets complets (phase 2)

Pour la phase 2 (voir critères de recevabilité, § 3.4 et d'évaluation, § 3.5), un comité d'évaluation indépendant et à dimension internationale mis en place par l'ANR, sera en charge de l'évaluation et du classement. Ce comité pourra recourir, le cas échéant, à des expertises externes et procéder à une audition des porteurs de projets. À l'issue de ses travaux, le comité d'évaluation remettra aux directeurs du PEPR SPLEEN un rapport comprenant :

- 1) Les notes attribuées aux projets évalués selon les critères indiqués au § 3.5 ;
- 2) La liste des projets que le comité recommande pour financement en raison de leur adéquation à l'AMI et de leur qualité, évaluées sur la base des critères indiqués au § 3.5 ;
- 3) La liste des projets que le comité propose de ne pas financer.

Chaque projet évalué en phase 2 fera l'objet d'un argumentaire expliquant les raisons de son positionnement sur l'une des deux listes. Le comité pourra également formuler un avis sur le montant des financements demandés.

Les directeurs du PEPR proposent au Secrétariat Général Pour l'Investissement la liste des projets qui pourraient être financés et le montant qui pourrait leur être définitivement attribué. Le Premier ministre, après avis du SGPI et du CPMo, 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 interne au PEPR ainsi que les membres du comité d'évaluation d'experts internationaux 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 d'évaluation d'experts internationaux et les porteurs et partenaires des projets. En cas de manquement dûment constaté, l'ANR se réserve le droit de prendre toute mesure qu'elle jugerait nécessaire pour y remédier. La composition du comité d'évaluation sera affichée sur le site de publication de l'Appel à Manifestation d'Intérêt à l'issue de la procédure de sélection.

## 4. Dispositions générales pour le financement

### 4.1. 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 personnels affectés spécifiquement à ces projets, et des dépenses de fonctionnement associées.

Les dépenses éligibles sont précisées dans le règlement financier relatif aux modalités d'attribution des aides de l'action PEPR. L'intervention publique s'effectue notamment dans le respect des articles 107 à 109 du Traité sur le Fonctionnement de l'Union européenne et des régimes cadres d'aides d'Etat afférents, ainsi que des encadrements temporaires en vigueur. 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.

### 4.2. Accords de consortium

Les consortiums sans Entreprises ne sont pas soumis à l'obligation de conclure et transmettre à l'ANR un accord de consortium si l'aide demandée est inférieure ou égale à 5 M€.

Lorsqu'il est exigé, 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 accord(s) même s'ils ne bénéficient pas d'une quote-part de l'aide de l'ANR.

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'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 alors 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.

### 4.3. 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. 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 transformatif<sup>1</sup> ;
- Publication dans une autre revue à abonnement. La version éditeur ou le manuscrit accepté pour publication doit alors être déposé dans l'archive ouverte HAL par les auteurs sous une licence CC-BY.

Dans tous les cas, 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 preprint dans des plateformes ouvertes ou archives ouvertes, à privilégier la publication dans des revues ou ouvrages nativement en accès ouvert<sup>2</sup>, à utiliser des identifiants pérennes ou uniques (DOI ou HAL, par exemple), et à mentionner les identifiants chercheurs ORCID.

Les bénéficiaires s'engagent par ailleurs partager les données de leur recherche dans une démarche dite FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable) conforme au principe « aussi ouvert que possible, aussi fermé que nécessaire », ce a minima pour les données associées aux publications.

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

### 4.4. Aide d'État

Les aides versées dans le cadre du présent Appel à Manifestation d'Intérêt sont soumises à l'encadrement européen, c'est-à-dire à l'encadrement des Aides d'État 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

<sup>1</sup> 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/>

<sup>2</sup> 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.

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.

## 4.5. Suivi des projets et communication

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 3.1) et 2) un indicateur commun à tous les projets des PEPR (voir Annexe 3.2). Des indicateurs spécifiques pourront également être conjointement définis pour chaque projet au moment de la contractualisation.

Une fois le projet sélectionné, chaque bénéficiaire soutenu par le Plan France 2030 est tenu de mentionner ce soutien dans ses actions de communication, ou la publication des résultats du projet, avec la mention « Ce projet a été soutenu par le Plan France 2030 », accompagnée des logos du Plan France 2030 ». Enfin, les bénéficiaires sont tenus à une obligation de transparence et de reporting vis-à-vis de l'Etat et de l'ANR, nécessaire à l'évaluation ex-post des projets ou de l'Appel à Manifestation d'Intérêt.

# 5. Modalités de dépôt

## 5.1. 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 Manifestation d'Intérêt, dont la date et l'heure sont indiquées page 4.

### IMPORTANT

Aucun élément complémentaire ne pourra être accepté après la clôture de l'Appel à Manifestation d'Intérêt dont la date et l'heure sont indiquées page 4.

Les documents devront être déposés sur le site de dépôt dont l'adresse est mentionnée page 4. 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.

En phase 1, seule une lettre d'intention de 6 pages maximum, rédigée en anglais, est requise.

En phase 2, le dossier de dépôt complet en phase 2 est constitué de deux documents à renseigner intégralement :

1) Le « document scientifique », d'une longueur maximum de 15 pages, rédigé en anglais, comprenant les rubriques selon le format fourni, références comprises ;

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 Manifestation d'Intérêt (voir adresse page 4).

## 5.2. 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 X (à renseigner) du présent Appel à manifestation d'intérêt, sur le site web de dépôt selon les recommandations en 5.3.

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 Manifestation d'Intérêt 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.

## 5.3. 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 lettres d'intention 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 le document déposé dans l'espace dédié « documents de dépôt » soit complet et correspondent aux éléments attendus ;
- 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 4 du présent document.

# 6. Annexes

## Annexe 1 : Résumés des projets ciblés du PEPR SPLEEN<sup>3</sup>

**DCarbo - Données pour la décarbonation (axe 1 : nouveaux outils de conception et d'évaluation des systèmes industriels)**

La décarbonation de l'industrie passe par une meilleure connaissance et maîtrise des émissions de CO<sub>2eq</sub> de ses sites de production. L'installation de capteurs à des endroits stratégiques et la fourniture de données de processus en

---

<sup>3</sup> Pour des informations complémentaires, consulter <https://www.pepr-spleen.fr/>

temps réel pourraient fournir les informations pertinentes nécessaires pour effectuer une analyse dynamique des émissions de CO<sub>2eq</sub>, 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 (axe 1 : nouveaux outils de conception et d'évaluation des systèmes industriels)**

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 CO<sub>2</sub>).

#### **SHIP4D - Chaleur solaire pour la décarbonation des procédés industriels (axe 2 : efficacité énergétique et chaleur décarbonée)**

L'industrie est responsable d'environ 25% des émissions anthropogéniques mondiales de CO<sub>2</sub> 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 (axe 1 : nouveaux outils de conception et d'évaluation des systèmes industriels)**

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 développés

### **ECOCHÉM - Réactions éco-efficaces et intensifiées (axe 3 : intensification et décarbonation des procédés industriels)**

L'industrie chimique contribue aujourd'hui à 5 % des émissions anthropiques mondiales de CO<sub>2</sub>. En moyenne, 1 à 2,5 kg de CO<sub>2</sub> sont émis par kg de produit fabriqué. Considérant que le marché de la chimie croît à un rythme annuel de 3%, les émissions de CO<sub>2</sub> issues de l'industrie chimique augmenteront automatiquement si rien n'est fait. De plus, l'augmentation des taxes sur les émissions de CO<sub>2</sub> (accord de Paris sur le changement climatique) est un moteur économique qui oblige l'industrie chimique à réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> (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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub>, l'intensification sera abordée (batch vers continu, microfluidique, processus hybride et multifonctionnel...).

Par conséquent, ECOCHÉM 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 CO<sub>2</sub> ?
- 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 CO<sub>2</sub>) ?
- Comment réduire la consommation d'énergie, et donc les émissions de CO<sub>2</sub>, des réactions/procédés catalytiques ?

### **IMOSYCCA - Systèmes modulaires intensifiés pour une capture sans danger du CO<sub>2</sub> (axe 3 : intensification et décarbonation des procédés industriels)**

Bien que des procédés de captage du CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> dans la gamme de 10-100 kt CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> avec une pénalité énergétique basse ou décarbonée (axe 3 : intensification et décarbonation des procédés industriels)**

Bien que des procédés de capture du CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>.

### **OXY3C - Captage du CO<sub>2</sub> par des procédés d'oxy-combustion éco-efficients (axe 3 : intensification et décarbonation des procédés industriels)**

Dans le scénario de réduction des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> (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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> - Propulser la conversion du CO<sub>2</sub> en e-carburants, carburants solaires et synthons chimiques via des énergies renouvelables au-delà de l'état de l'art (axe 4 : stockage et valorisation du CO<sub>2</sub>)**

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 CO<sub>2</sub>, 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 PowerCO<sub>2</sub> vise à relever les principaux défis inhérents à la conversion du CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> et la découverte de nouvelles voies de réaction pour le CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> avec une efficacité maximale en termes de carbone et d'énergie.
- Tâche 2 : Exploiter l'ensemble du spectre solaire dans la transformation du CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, 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 PowerCO<sub>2</sub> (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 sociotechnique pour le stockage géologique de CO<sub>2</sub> terrestre en France (axe 4 : stockage et valorisation du CO<sub>2</sub>)**

Jusqu'à présent, le développement limité des technologies de capture et stockage de CO<sub>2</sub> (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 CO<sub>2</sub> 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 coconstruire et mettre en œuvre avec les parties prenantes une feuille de route technologique sur le stockage du CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> ; 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 CO<sub>2</sub> de manière transdisciplinaire. Ce processus inclura des recherches sur le stockage du CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 sociotechnique 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 : Thématiques du premier Appel à Projets du PEPR SPLEEN**

En janvier 2024, le PEPR SPLEEN a lancé son premier appel à projets, afin d'élargir l'offre scientifique des différents axes du programme, à partir de sujets demandant des travaux de recherche principalement exploratoires ou pour lesquels les communautés scientifiques sont moins structurées. Clôturé le 14 mars 2024, cet appel à projets s'est structuré autour des thématiques suivantes.

- Systèmes de capteurs innovants pour la décarbonation de l'industrie (vers un système holistique de capteurs pour l'industrie)
- Intégration de vecteurs énergétiques décarbonés dans les procédés industriels (décarbonation de la chaleur par l'usage de l'hydrogène, de l'ammoniac et de la biomasse)
- Gestion de la chaleur fatale : récupération et valorisation
- Procédés intensifiés et décarbonés (procédés multifonctionnels en rupture)
- Captage et utilisation du CO<sub>2</sub> (procédés de captage de CO<sub>2</sub> modulaires et montée en échelle, synthèse de matériaux polymères et carbonates à partir de CO<sub>2</sub>)

## **Annexe 3 : Indicateurs**

### **Annexe 3.1 : 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 déposés / retenus au Conseil européen de la recherche (European Research Council – ERC)

Liste des projets déposés 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
--

## Annexe 2.2 : 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](mailto:PEPR-Decarbonation@agencerecherche.fr)