



**GOUVERNEMENT**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**anr**®  
agence nationale  
de la recherche



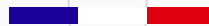
# **PEPR Exploratoire SupraFusion**

## **Appel à projets**

L'appel à projets est ouvert jusqu'au 24/03/2026 à 11h00 (heure de Paris).

Adresse de consultation : <https://anr.fr/PEPR-SupraFusion-AAP-2025>

**APPEL À PROJETS**



# Résumé

## Programme SupraFusion

Les Supraconducteurs à Haute Température Critique (SHTc) ont été découverts il y a bientôt 40 ans. Les SHTc se sont révélés en effet extrêmement complexes à mettre en œuvre sous forme de conducteurs (rubans REBCO) avec les performances requises. Si les différents verrous pour les élaborer ont été longs à lever, les SHTc présentent maintenant des performances remarquables, suffisantes pour la majorité des applications et sont produits de manière industrielle depuis les années 2020. Le dernier verrou important reste le coût, trop élevé pour certaines applications, mais les perspectives de réduction sont nombreuses.

Cette disponibilité récente en qualité et en quantité suffisante des rubans REBCO, devenus un produit commercial, est un changement de paradigme. Ces SHTc peuvent être utilisés principalement dans deux domaines inaccessibles aux supraconducteurs conventionnels :

- Inductions magnétiques intenses (> 20 T) à basse température ;
- Fonctionnement dans l'azote liquide (> 65 K) pour des inductions magnétiques modérées.

Les inductions intenses intéressent la communauté des champs magnétiques extrêmes car permettent la production de ces champs à des coûts énergétiques nettement inférieurs (facteur 1000) à la solution actuelle utilisant des bobines en cuivre.

Les inductions magnétiques intenses possibles avec les SHTc ouvrent des perspectives particulièrement prometteuses pour la fusion thermonucléaire magnétique : la puissance volumique du réacteur varie comme la puissance 4 de l'induction ! Les SHTc offrent donc la possibilité unique de réacteurs compacts. Les défis scientifiques et techniques restent en revanche considérables. Les perspectives sont telles que de nombreuses startups très ambitieuses, voire audacieuses, ont émergé. Une de ces startups, Renaissance fusion, est installée à Grenoble.

Le fonctionnement dans l'azote liquide des SHTc, fluide industriel courant et abondant, ouvre là aussi des perspectives uniques, notamment pour les réseaux électriques. La cryogénie des supraconducteurs conventionnels y est un obstacle rédhibitoire. Les câbles et les limiteurs de courant de défaut SHTc améliorent nettement la sécurité d'alimentation électrique, une demande actuelle forte. Ils augmentent les capacités des réseaux électriques sans modification importante, atout majeur dans la perspective du développement considérable des réseaux électriques pour atteindre la neutralité carbone. Les SHTc sont aussi par exemple une technologie habilitante pour l'avion électrique en permettant un système électrique léger, y compris les moteurs.

C'est pour répondre à ce changement récent de paradigme des SHTc que le Programme et Equipements Prioritaires de Recherche PEPR « SupraFusion » a été élaboré par le CEA et le CNRS et sélectionné à l'Appel à Programmes PEPR Exploratoires.

SupraFusion ambitionne de développer toute la technologie des SHTc REBCO, en utilisant les réacteurs de fusion magnétique comme vecteur de développement, mais bien d'autres applications seront explorées. SupraFusion vise à développer les technologies de base, indispensables aux applications. Les défis et verrous sont nombreux.

Les problématiques du programme SupraFusion sont fondamentalement interdisciplinaires. Les objets visés sont des dispositifs électriques, mais leur fonctionnement à basse température induit des défis en termes de refroidissement et de cryogénie. Un des verrous majeurs pour les réacteurs SHTc compacts de fusion reste la mécanique : comment concevoir une structure capable de reprendre les forces gigantesques liées aux inductions énormes (> 20 T). La réduction de taille promise par les SHTc a cependant un impact sur d'autres défis qui doivent être surmontés pour réaliser une centrale fusion, comme potentiellement des contraintes accrues sur les matériaux.

Les impacts environnementaux de ces dispositifs sont étudiés et analysés avec soin via des analyses de cycle de vie (ACV) notamment. Le KIT (Karlsruhe Institute of Technology) a montré par exemple des bénéfices environnementaux pour les câbles SHTc dans certaines conditions.

Le cœur de SupraFusion est un démonstrateur d'envergure (centaine de MJ, dimensions métriques,

20 T sur le câble avec un courant supérieur à 40 kA) pour la fusion. Ce sera une bobine de type « race track » qui apparaît comme l'objet le plus intéressant et riche d'enseignement. Il doit apporter un maximum de réponses pour la suite, étant là pour « déboguer » et viabiliser au maximum la technologie. L'objectif visé pour ce démonstrateur en termes de TRL est 4 avec une réalisation impliquant l'industrie. Il sera testé dans des conditions les plus représentatives possibles avec une instrumentation extrêmement complète pour qualifier au mieux ce démonstrateur et avoir des réponses précises sur toutes les solutions technologiques prises et les outils de conception ainsi que de simulation. Les essais utiliseront la station du CEA des tests des bobines de JT60SA après sa mise à niveau.

Autour de ce démonstrateur, qui correspondent au plus important projet ciblé (PC) du PEPR en termes de personnel et financement (PC3 - SF-Demo), existent trois autres projets ciblés pour développer les technologies de base :

- **Caractérisation et optimisation des rubans REBCO (PC1 - SF-tape)**, même si ces conducteurs SHTc sont les plus avancés, leur maîtrise n'est pas encore entière, leur caractérisation notamment mécanique n'est pas complète par exemple ; destiné à produire des inductions d'environ 20 T, des caractérisations des rubans sous inductions magnétiques intenses restent indispensables, elles existent déjà en particulier au LNCMI (Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses), mais elles seront perfectionnées ; la connaissance en champ variable, notamment les pertes AC devront être quantifiées ; enfin il faudra adapter le ruban REBCO à certaines applications visées via son stabilisateur.
- **Développement d'un câble fort courant (PC2 - SF-Cond)**, plusieurs rubans REBCO doivent être assemblés (pour former un « câble ») pour atteindre les courants nécessaires (dizaine de kA) ; le câble SHTc est une brique élémentaire encore en plein développement au plan international ; la première phase consistera à développer un sous-câble (1 – 10 kA) et les joints adaptés (nΩ, reproductibles, qualifiables, ...) qui seront caractérisés de manière extensive dans des conditions représentatives, en particulier en terme d'induction magnétique ; la cryogénie associée aux câbles sera étudiée, évaluée et optimisée.
- **Protection des aimants (PC3 - SF-Protection)** pour un fonctionnement sûr ; si les aimants SHTc sont extrêmement stables, ils restent très difficiles à protéger contre des détériorations irréversibles ; des solutions ont été trouvées pour les « petits » aimants SHTc, mais elles ne sont pas forcément transposables aux énormes aimants visés. L'aimant modèle de Commonwealth Fusion System a subi un dommage irréversible ; des modélisations multi-échelles (la couche REBCO est micrométrique) et multi-physiques ainsi que des expériences ciblées feront progresser nos connaissances et notre maîtrise du phénomène pour concevoir une protection fiable des grands aimants SHTc en travaillant sur l'aimant, son câble, son isolation électrique, mais aussi sur la détection ultra-sensible des défauts et le processus de protection ; les systèmes actuels sont de loin, ni assez sensibles et ni assez rapides.

Enfin, un cinquième projet ciblé du PEPR concerne **les réacteurs de fusion SHTc compacts (PC5 - SF-plant)**. Le projet prévoit une mise à jour des codes du CEA de dimensionnement de centrale de type Tokamak en intégrant les spécificités des SHTc sans oublier la cryogénie, également différente. La voie « stellarator » sera aussi explorée. La tenue des forces considérables dans les réacteurs compacts de fusion sera étudiée avec beaucoup de soin, c'est certainement l'un des défis majeurs. Des voies nouvelles seront explorées. L'évacuation de la chaleur de ces réacteur compacts devient une gageure tout comme la tenue des parois, de nouvelles solutions seront proposées. Enfin la forme du plasma sera questionnée.

**Un appel à projets**, objet de ce document, complète le programme pour laisser la place à de nouveaux développements ou idées dans les deux axes suivants :

- **Axe 1 : Développements de technologies et d'infrastructures pour les SHTc de type REBCO ;** outils de caractérisations innovants ;
- **Axe 2 : Développements pour les applications sociétales SHTc** (I.R.M., applications pour réseau électrique, éoliennes, transport, fusion magnétique ...) ; il s'agit ici de repenser les applications et les besoins en fonction de toutes les opportunités offertes par les SHTc.

Les projets déposés devront s'inscrire dans un de ces 2 axes ci-dessus, en synergie avec les 5 projets ciblés de SupraFusion :

L'aide demandée pour un projet sera comprise entre 800 k€ et 1,4 M€. Les projets auront une durée de 4 ans. Le budget total alloué à l'AAP est d'environ 7 M€.

Cet appel à projets a pour objectif la construction de projets ambitieux, originaux et structurants permettant de renforcer les activités de recherche et de développement en accord avec les objectifs de SupraFusion. Ils doivent compléter les actions des 5 projets ciblés, c'est à dire venir en renfort sur des aspects particuliers, apporter de nouveaux moyens expérimentaux ou numériques (modélisation), ouvrir de nouveaux champs, en particulier sur les applications sociétales.

## Mots-clés

Supraconducteur à haute température critique ; Fusion magnétique ; Tokamak ; Stellarator ; Limiteur supraconducteur de courant de défaut ; Eoliennes ; Câble supraconducteur ; Ruban REBCO ; Câble multi rubans ; Protection.

## 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 :

**24 mars 2026 à 11h (heure de Paris)**

sur le site :

<https://france2030.agencerecherche.fr/PEPR-SupraFusion-AAP-2025>

## Contacts ANR

[PEPR-SupraFusion@agencerecherche.fr](mailto:PEPR-SupraFusion@agencerecherche.fr)

**Chargée de Projet Scientifique : Aïssata NIASSE**

**Responsable d'Action : Philippe SAINCTAVIT**

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>	5.2. Procédure de dépôt .....	15
<b>Mots-clés .....</b>	<b>4</b>	5.3. Conseils pour le dépôt .....	16
<b>Dates importantes .....</b>	<b>5</b>	<b>6. Annexe 1. Indicateurs.....</b>	<b>17</b>
<b>Contacts ANR .....</b>	<b>5</b>	<b>Annexe 1.1 - Indicateurs communs</b>	
<b>1. Contexte et objectifs de l'appel</b>		<b>des projets France 2030.....</b>	<b>17</b>
<b>à projets .....</b>	<b>7</b>	1. Publications .....	17
1.1. Contexte .....	7	2. Brevets .....	17
1.2. Objectifs de l'appel à projets..	7	3. Jeux de données .....	17
1.3. Rôle des directeurs du PEPR...	8	4. Logiciels .....	17
1.4. Contacts des directeurs du		5. Production technologique ...	17
PEPR.....	8	6. Start-up .....	17
<b>2. Axes de l'appel et projets</b>		7. Financements externes .....	17
<b>attendus .....</b>	<b>8</b>	8. Projets déposés / retenus au	
2.1. Axes .....	8	Conseil européen de la	
2.2. Principales caractéristiques des		recherche (European Research	
projets.....	9	Council – ERC) .....	17
2.3. Partenaires .....	9	9. Ressources humaines .....	18
<b>3. Examen des projets proposés</b>	<b>10</b>	10. Formation .....	18
3.1. Procédure de sélection .....	10	11. Doctorats .....	18
3.2. Critères de recevabilité.....	11	12. Post-Doctorats .....	18
3.3. Critères d'évaluation.....	11	<b>Annexe 1.2 - Indicateur commun</b>	
<b>4. Dispositions générales pour le</b>		<b>aux PEPR.....</b>	<b>18</b>
<b>financement .....</b>	<b>12</b>	<b>7. Annexe 2. Description des</b>	
4.1. Financement.....	12	<b>projets ciblés .....</b>	<b>19</b>
4.2. Accords de consortium .....	12		
4.3. Science ouverte .....	13		
4.4. Aide d'État.....	14		
4.5. Suivi des projets et			
communication .....	15		
<b>5. Modalités de dépôt.....</b>	<b>15</b>		
5.1. Contenu du dossier de dépôt			
15			

# 1. Contexte et objectifs de l'appel à projets

## 1.1. Contexte

Le développement récent et rapide des supraconducteurs à haute température (SHTc) de type REBCO qui sont devenus un produit commercial à hautes performances constitue une percée potentiellement importante pour les applications sociétales de la supraconductivité. Grâce à leurs performances, les SHTc pourraient créer un changement de paradigme, en permettant en particulier, la conception de réacteurs de fusion magnétique compacts, accélérant alors l'arrivée de la production d'électricité à partir de l'énergie de fusion. Les SHTc pourraient également conduire à des avancées très importantes dans d'autres domaines tels que les réseaux électriques, l'énergie éolienne, l'imagerie médicale, la mobilité à faible émission de carbone, la physique des hautes énergies et la science des matériaux à haut champ.

Ces modifications profondes des domaines des supraconducteurs et de la fusion magnétique ont conduit au Programme et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR) « SupraFusion » piloté par le CEA et le CNRS.

- Le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives) est un acteur majeur de la recherche en Europe, notamment dans les domaines des énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), du numérique, des technologies pour la médecine du futur et de la défense et la sécurité. Il joue un rôle central dans le développement des technologies liées à la fusion nucléaire et aux supraconducteurs à haute température critique, en mobilisant ses compétences en ingénierie, physique des plasmas et matériaux avancés.
- Le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) joue un rôle majeur dans la recherche fondamentale en Europe. Le CNRS mobilise l'ensemble des sciences pour appréhender les défis du monde contemporain dans toute leur complexité, en lien avec les organisations de terrain. Il joue un rôle essentiel dans l'exploration des concepts théoriques et expérimentaux liés à la fusion nucléaire, notamment la physique des plasmas, et aux supraconducteurs.

SupraFusion vise à développer une filière technologique française dans le domaine des applications des SHTc, en utilisant la fusion par confinement magnétique comme moteur pour la recherche et l'innovation.

Le programme SupraFusion repose sur un large réseau de laboratoires, qui contribuent chacun à différentes avancées dans les domaines des SHTc et de la fusion magnétique. Ils couvrent toute la chaîne de valeur, de la recherche fondamentale à l'application industrielle. Le programme implique 400 chercheurs au niveau national.

## 1.2. Objectifs de l'appel à projets

Cet appel à projets (AAP) a pour objectif la construction de projets ambitieux, originaux et structurants permettant de renforcer les activités de recherche et de développement en accord avec les objectifs de SupraFusion. Ils doivent compléter les actions des 5 projets ciblés, c'est à dire venir en renfort sur des aspects particuliers, apporter de nouveaux moyens expérimentaux ou numériques (modélisation), ouvrir de nouveaux champs, en particulier sur les applications sociétales. Cet appel à projet vise également à élargir le périmètre des équipes participant au programme.

Le budget total alloué à l'AAP est d'environ 7 M€.

Deux axes ont été identifiées :

- **Axe 1 : Développements de technologies et d'infrastructures pour les SHTc** de type rubans REBCO ; outils de caractérisations innovants ;
- **Axe 2 : Développements pour les applications sociétales SHTc** (I.R.M., applications pour réseau électrique, éoliennes, transport, fusion magnétique ...) ; il s'agit ici de repenser les applications et les besoins en fonction de toutes les opportunités offertes par les SHTc.

Les projets déposés devront s'inscrire dans un de ces 2 axes décrits ci-dessous, en synergie avec les 5 projets ciblés de SupraFusion. Les descriptions des 5 Projets Ciblés sont disponibles en Annexe 2.

### 1.3. Rôle des directeurs du PEPR

Les directeurs du PEPR SupraFusion, Pierre Védrine (CEA), Jérôme Bucalossi (CEA), Yannick Marandet (CNRS) et Pascal Tixador (Grenoble-INP) ont été chargés, en lien avec l'ANR, de la préparation du texte, précisant les objectifs, le périmètre scientifique et les thématiques de cet appel à projets. Ils assurent sa cohérence avec les défis scientifiques du programme et la bonne articulation avec les projets ciblés.

Les directeurs de SupraFusion proposeront un webinar de présentation et d'échanges et pourront par la suite accompagner les porteurs souhaitant répondre à cet appel à projets : les porteurs de propositions sont encouragés à se rapprocher des directeurs pour vérifier notamment que leur thématique et le partenariat envisagé est conforme au cadrage de cet appel à projets.

Evaluation des projets :

L'ANR mandate un comité d'experts internationaux pour évaluer les projets. En amont du processus d'évaluation, les directeurs de programme rappelleront au comité d'experts les objectifs et les grandes lignes du PEPR SupraFusion et son positionnement, notamment par rapport aux stratégies institutionnelles. Par la suite, le comité international prendra seul en charge les évaluations. Il proposera une liste de projets proposés pour financement.

A partir de cette liste, les directeurs avec le comité de pilotage de SupraFusion proposeront au Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI), une liste des projets à financer, ainsi qu'un montant d'aide qui pourrait être alloué à chaque projet dans le cadre du budget prévu pour cet appel à projets.

Le Premier Ministre, après avis du SGPI, arrête la décision concernant les bénéficiaires et les montants accordés. Chacun des projets lauréats fait l'objet d'un contrat entre l'ANR et l'établissement coordinateur du projet, précisant les obligations réciproques de chaque partie.

### 1.4. Contacts des directeurs du PEPR

Pour contacter les directeurs du PEPR SupraFusion, l'adresse à utiliser est :

« [directionprogramme@suprafusion.fr](mailto:directionprogramme@suprafusion.fr) »

Dans l'objet du message la mention « AAP SupraFusion » doit être spécifiée. Cette adresse permet de contacter simultanément :

- Pierre Védrine (CEA) ;
- Jérôme Bucalossi (CEA) ;
- Yannick Marandet (CNRS) ;
- Pascal Tixador (Grenoble-INP).

## 2. Axes de l'appel et projets attendus

### 2.1. Axes

Cet appel à projets, d'un montant total d'environ 7 M€, concerne les deux axes suivants :

- Axe 1 : Développement de technologies et d'infrastructures pour les SHTc.
- Axe 2 : Développements pour les applications sociétales SHTc.

Les projets déposés devront s'inscrire dans un de ces 2 axes décrits ci-dessous, et être complémentaires avec les 5 projets ciblés de SupraFusion ou venir les enrichir. La répartition indicative des moyens entre les deux axes est de 3 M€ pour l'axe 1 et 4 M€ pour l'axe 2 – cette répartition pourra faire l'objet d'ajustements au vu des propositions de financement du comité d'experts internationaux en charge de l'évaluation.

### 2.1.1 Développement de technologies et d'infrastructures – Axe 1

Cet axe vise à développer des briques technologiques SHTc à base de ruban REBCO. Il se concentre principalement sur la mission de combler les faiblesses et les lacunes françaises dans les infrastructures technologiques clés qui font défaut à la communauté scientifique hexagonale aujourd'hui. Les projets déposés dans cet axe pourront contribuer par exemple à soutenir des laboratoires avec de l'expertise et de l'équipement dans la mise en œuvre de :

- Rubans REBCO (fabrication, amélioration performances, adaptation et optimisation, ...) ;
- Fabrication de conducteurs (assemblage de rubans REBCO) ;
- Outillage et procédés de fabrication des aimants ;
- Caractérisation et qualification (rubans, conducteurs, bobines) ;

Cette liste est non exhaustive.

### 2.1.2 Développements pour les applications sociétales SHTc – Axe 2

L'objectif stratégique de ce deuxième axe est de contribuer au défi consistant à « repenser les applications et les besoins » compte tenu des multiples possibilités offertes par la technologie SHTc. Les moyens consacrés à cet appel financeront différents types d'initiatives telles que :

- Des études de conception ou d'aide à la conception de dispositifs pour les applications sociétales qui intègrent la technologie et des SHTc, évaluent les avantages potentiels et identifient les verrous possibles. Ces dispositifs peuvent être par exemple des éoliennes, des I.R.M., des systèmes ou réseaux électriques terrestre ou embarqués, y compris le moteur, les câbles d'énergie, les limiteurs de courant de défaut, la fusion magnétique .... ;
- Des besoins en matière de R & D, de prototypage ou d'infrastructures pour faire la preuve de concept de dispositif pour une application sociétale utilisant une technologie SHTc ;
- Des études socio-économiques, évaluant la viabilité et la rentabilité réelle des technologies SHTc pour la commercialisation des produits, leur utilisation généralisée dans la société ;
- Analyse du cycle de vie (ACV) et impacts environnementaux.

Cette liste est non exhaustive.

## 2.2. Principales caractéristiques des projets

Cet appel à projets du programme SupraFusion s'adresse à toute la communauté scientifique intéressée par la technologie SHTc et leurs applications sociétales, incluant la fusion magnétique.

Son objectif est de financer des projets ambitieux structurant la communauté.

Le budget total alloué est d'environ 7 M€. L'aide demandée pour un projet sera comprise entre 800 k€ et 1,4 M€. La durée des projets sera de 4 ans.

## 2.3. Partenaires

Les projets déposés devront être structurants. Les équipes de recherche déjà impliquées dans les projets du PEPR SupraFusion peuvent faire partie des projets déposés à cet AAP. La participation d'équipes qui ne sont pas déjà impliquées dans le PEPR SupraFusion est attendue et encouragée. Également, la participation d'équipes impliquées dans d'autres PEPR connexes est fortement encouragée afin de favoriser la fertilisation croisée entre projets.

Les bénéficiaires des aides seront des établissements d'enseignement supérieur et/ou de recherche français 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'Éducation, pourront être financés après analyse de l'ANR, avis du MESRE et validation par le SGPI.

Les entreprises pourront être partenaires dans les projets, mais ne pourront pas bénéficier de financement au titre de cette participation. Ce type de partenariat est encouragé, l'objectif est de renforcer les interactions avec le secteur privé et d'impliquer l'industrie dans la technologie SHTc à travers des projets communs avec les équipes des laboratoires.

De même, les projets pourront impliquer des partenaires étrangers (Europe et hors Europe), sans pouvoir bénéficier de financement au titre du PEPR. Cette participation de partenaires industriels ou internationaux est d'autant plus encouragée qu'elle pourra être une opportunité pour amorcer la construction de consortia internationaux et répondre à des appels européens ou internationaux.

## **3. Examen des projets proposés**

### **3.1. Procédure de sélection**

Les projets recevables (cf. § 3.2) 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 SupraFusion un rapport comprenant :

- 1) la liste des projets que le comité recommande pour financement en raison de leur qualité, évaluée sur la base des critères indiqués au § 3.3,
- 2) 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 § 3.3.

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 expertes et experts externes sollicités s'engagent à respecter les règles de déontologie et d'intégrité scientifique établies par l'ANR. A ce titre, elles et ils s'engagent au strict respect des règles de confidentialité, à déclarer tout lien d'intérêt qui pourrait constituer un conflit d'intérêt dans le cadre de l'évaluation et à ne pas utiliser d'outils IA ou utilisant l'IA pour réaliser l'évaluation. En cas de manquement dûment constaté, l'ANR se réserve le droit de prendre toute mesure qu'elle juge nécessaire pour y remédier comme cela est précisé dans la charte de déontologie et d'intégrité scientifique de l'ANR ainsi que dans la politique ANR en matière d'éthique, d'intégrité scientifique et de déontologie disponibles sur son site internet. 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.

## 3.2. 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 signé par chaque établissement partenaire et scanné doit être déposé sur le site de dépôt de l'ANR à la date et l'heure indiquées en page 2.
- 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 de 4 ans.
- 4) Le montant de l'aide demandée devra être d'un montant minimum de 0,8 M€ et d'un montant maximum de 1,4 M€.
- 5) Le projet devra impliquer au moins 2 établissements partenaires.
- 6) Un même responsable du projet ne pourra être porteur que d'un seul projet du PEPR, y compris les projets ciblés.
- 7) L'établissement coordinateur doit être un établissement français d'enseignement supérieur et 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.

## 3.3. 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) Articulation avec le programme

- Complémentarité par rapport aux projets ciblés existants du PEPR ;
- Pertinence vis-à-vis des objectifs du programme ;

### 2) 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 ;
- Pertinence de la méthodologie ;

### 3) 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 ;
- Pertinences des établissements partenaires du consortium, implication des partenaires industriels ou étrangers ;
- 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.).

#### 4) Impact et retombées du projet :

- Capacité du projet à répondre aux enjeux de recherche de l'axe scientifique choisi ;
- Impacts économiques et sociétaux, contribution au développement de solutions en réponse aux enjeux des domaines prioritaires du programme ;
- 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.

## 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 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. 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. 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 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.

### 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 l'ANR s'engagent à<sup>1</sup> :

***Garantir l'accès ouvert immédiat aux publications scientifiques évaluées par les pairs.***

Ainsi, toutes les publications scientifiques issues de projets ANR financés dans le cadre de France 2030, seront rendues disponibles en accès libre sous la licence *Creative Commons CC-BY* ou équivalente, en utilisant l'une des trois voies suivantes :

- publication dans une revue nativement en accès ouvert ;
- publication dans une revue par abonnement faisant partie d'un accord dit transformant ou journal transformatif<sup>2</sup> ;
- publication dans une revue à abonnement. La version éditeur ou le manuscrit accepté pour publication sera déposé dans l'archive ouverte HAL sous une licence *CC-BY* en mettant en œuvre la Stratégie de non-cession des droits<sup>3</sup>, selon les modalités communiquées dans les conditions particulières.

Au moment du dépôt, l'auteur utilisera la formulation suivante dans l'article et/ou dans la lettre adressée à l'éditeur :

*« Cette recherche a été financée en tout ou partie, par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre de France 2030 au titre du projet ANR-nn-XXXX-nnnn. Dans l'objectif de sa publication en accès ouvert, l'auteur a appliqué une licence open access CC-BY à tout manuscrit accepté pour publication (AAM) résultant de cette soumission. ».*

Pour vérifier si le journal ou la revue de leur choix est conforme au Plan S et quelle voie s'offre à eux, les auteurs pourront utiliser l'outil Journal Checker Tool.<sup>4</sup>

De plus, le coordinateur ou la coordinatrice du projet 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 (ex : ANR-25-XXXX-0001) dont elles sont issues en associant un identifiant pérenne (DOI Crossref).

Par ailleurs, l'ANR recommande que les chapitres d'ouvrage et les ouvrages de recherche évalués par les pairs issus de projets ANR soient également rendus disponibles en accès ouvert sous une licence Creative Commons ou équivalente (la licence CC-BY est recommandée). L'ANR encourage le dépôt du texte intégral du chapitre ou de

<sup>1</sup> Pour plus d'informations, retrouvez les engagements de l'ANR pour une « Science ouverte » à la page Web <https://anr.fr/fr/lanr/engagements/la-science-ouverte/>

<sup>2</sup> Définition d'[accord dit transformant](https://www.coalition-s.org/transformation-journals-fag/) ou [journal transformatif](https://www.coalition-s.org/transformation-journals-fag/) : <https://www.coalition-s.org/transformation-journals-fag/>

<sup>3</sup> <https://www.ouvrirlascience.fr/mettre-en-oeuvre-la-strategie-de-non-cession-des-droits-sur-les-publications-scientifiques/>

<sup>4</sup> <https://journalcheckertool.org/>

l'ouvrage de recherche dans l'archive ouverte nationale HAL (version acceptée pour publication ou version éditeur) et à mentionner la référence ANR du projet de recherche (ex : ANR-25-XXXX-0001) en associant un identifiant pérenne (DOI Crossref).

L'ANR encourage également le dépôt des pré-publications (*pré-prints*) dans des plateformes ou archives ouvertes.

### **Faciliter le partage et la réutilisation des données de la recherche.**

En particulier pour les données liées aux publications, **en adoptant une démarche dite FAIR** (*Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable*), conforme au principe « *aussi ouvert que possible, aussi fermé que nécessaire* » et 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 communiquées dans les conditions particulières<sup>5</sup>. Dans une démarche de simplification, l'ANR préconise l'utilisation du modèle de PGD commun structuré disponible sur DMP OPIDoR<sup>6</sup>. Par ailleurs, les bénéficiaires s'engagent à déposer les données qu'ils souhaitent publier dans un entrepôt thématique de référence, ou dans [recherche.data.gouv](https://recherche.data.gouv.fr), en indiquant la référence du projet ANR dont elles sont issues (ex ANR-25-XXXX-0001).<sup>7</sup>

Enfin, conformément au 2ème Plan national pour la science ouverte, l'ANR recommande que les logiciels développés durant le projet soient mis à disposition sous une licence libre et que les codes sources soient archivés dans Software Heritage et décrits dans HAL en indiquant la référence du projet ANR (ex : ANR-25-XXXX-0001).

Un Plan de gestion de données (PGD) décrit la façon dont les données sont produites, documentées, (ré)utilisées, gérées et partagées pendant et après le projet de recherche. Il favorise ainsi la documentation des données selon les principes FAIR et facilite la réutilisation des données. Le PGD est un document valorisable notamment en le partageant sur HAL, il pourra également servir de base à la rédaction d'un data paper. La rédaction et la mise à jour d'un PGD sont des pratiques préconisées par de nombreux acteurs dont, au niveau national, le Réseau science ouverte entre les agences de financement<sup>8</sup>, et au niveau international, la Commission européenne, et la majorité des agences de financement en Europe.

Pour accompagner les chercheurs et les chercheuses dans cette démarche, les ateliers de la donnée sont des dispositifs de proximité, conçus pour fournir aux équipes de recherche qui en font la demande une expertise en gestion et en diffusion des données<sup>9</sup>.

## **4.4. Aide d'État**

L'aide versée dans le cadre de cet appel est susceptible de constituer une aide d'Etat au sens de l'article 107, §1 du TFUE si elle soutient des activités économiques entendu comme toute offre de biens ou des services sur un marché donné. Les bases juridiques mobilisables sont : 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, le régime cadre exempté n° SA. 111723 d'aides à la recherche, au développement et à l'innovation pris sur la base du règlement général d'exemption par catégorie n° 651/2014 adopté par la Commission européenne le 17 juin 2014 et publié au JOUE le 26 juin 2014, tel que modifié par les Règlements (UE) 2017/1084 de la Commission du 14 juin

<sup>5</sup> Dans une logique de simplification, et pour promouvoir les principes FAIR, l'ANR recommande l'adoption du [plan de gestion des données structuré](https://opidor.fr/lanr-publie-un-modele-de-pgd-structure-dans-dmp-opidor/), disponible sur DMP OPIDoR, qui permettra notamment une auto-complétion des données administratives du projet ANR.

<https://opidor.fr/lanr-publie-un-modele-de-pgd-structure-dans-dmp-opidor/>

<sup>6</sup> Le modèle structuré permet une auto-complétion des données administratives (titre, résumé, acronyme....) à partir de l'identifiant du projet (code décision). Il permet également une analyse plus automatisée de leur contenu.

<sup>7</sup> Pour vous aider dans le choix de l'entrepôt, consultez les ressources sur [recherche.data.gouv](https://recherche.data.gouv.fr/fr/logigram/ou-publier-vos-donnees) <https://recherche.data.gouv.fr/fr/logigram/ou-publier-vos-donnees>

Le comité pour la science ouverte a également établi une liste de critères de sélection pour un entrepôt digne de confiance : [https://www.ouvrirlascience.fr/wp-content/uploads/2023/11/Donnees\\_EntrepotConfiance\\_NoteMethodologique.pdf](https://www.ouvrirlascience.fr/wp-content/uploads/2023/11/Donnees_EntrepotConfiance_NoteMethodologique.pdf)

<sup>8</sup> Le réseau science ouverte rassemble l'Agence de la transition écologique (ADEME), l'Agence nationale de la recherche (ANR), l'ANRS Maladie infectieuses émergentes (ANRS MIE), l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), La Fondation pour la recherche médicale (FRM) et l'Institut national du cancer (INCa).

<sup>9</sup> <https://recherche.data.gouv.fr/fr/ateliers-de-la-donnee>

2017, publié au Journal Officiel de l'Union Européenne du 20 juin 2017, 2020/972 du 2 juillet 2020 publié au JOUE du 7 juillet 2020 et 2023/1315 du 23 juin 2023 publié au JOUE du 30 juin 2023 ou tout autre régime cadre exempté validé par la Commission européenne, le règlement n° 2023/2831 de la Commission du 13 décembre 2023 « relatif à l'application des articles 107 et 108 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne aux aides de minimis » et la décision de la Commission du 20 décembre 2011 « relative à l'application de l'article 106, paragraphe 2, du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne aux aides d'État sous forme de compensations de service public octroyées à certaines entreprises chargées de la gestion de services d'intérêt économique général ».

## 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 1.1) et 2) un indicateur commun à tous les projets des PEPR (voir Annexe 1.2). 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 projets.

# 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 projets, dont la date et l'heure sont indiquées page 2.

### 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 2.

Les documents devront être déposés sur le site de dépôt dont l'adresse est mentionnée page 2. 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 15 pages (Arial, 11), 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 qui intègre les lettres d'engagement signées par les établissements partenaires.

Les éléments du dossier de dépôt (document administratif et financier au format Excel / modèles de document scientifique au format Word) seront accessibles à partir de la page web de publication du présent appel à projets (voir adresse page 2).

## 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 2 du présent appel à projets,
- 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 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, intégrées dans le document administratif et financier 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.

### **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 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 de dépôt 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 5 du présent document.

## 6. Annexe 1. Indicateurs

### Annexe 1.1 - 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 précisément la technologie plus la

\* 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 1.2 - Indicateur commun aux PEPR

Nombre de projets transférés vers des programmes de Maturation / Prématuration
--

## 7. Annexe 2. Description des projets ciblés

### Annexe 2.1 – PC1 (SF-Tape)

#### Rubans Supraconducteurs à haute température critique, champ magnétique intense, fort courant

<https://suprafusion.fr/programme-suprafusion/pc-01-sf-tape/>

Ce projet vise à **étudier, caractériser et optimiser les rubans supraconducteurs REBCO** (Rare Earth Barium Copper Oxide), qui sont actuellement les meilleurs candidats pour les applications à haute température critique (SHT). L'objectif est d'améliorer leurs **propriétés mécaniques, thermiques et électromagnétiques** afin de garantir leur performance et leur fiabilité dans des environnements extrêmes, notamment pour les futurs réacteurs de fusion et autres applications haute énergie.

##### Contexte scientifique

La fusion nucléaire est une réaction dans laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd, libérant une immense quantité d'énergie. Inspirée du processus au cœur des étoiles, elle est considérée comme une source d'énergie durable et propre.

Les supraconducteurs, comme les rubans REBCO, jouent un rôle crucial en générant les champs magnétiques nécessaires pour confiner et stabiliser le plasma à des températures extrêmes dans les réacteurs de fusion, permettant d'atteindre des conditions optimales pour la réaction.

##### Enjeux scientifiques et technologiques

- Comprendre le comportement des rubans REBCO
  - Sous différentes conditions de température, de champ magnétique et de contraintes mécaniques.
- Optimiser leur architecture multicouche
  - Pour maximiser la conductivité et la résistance aux forces intenses.
- Créer une base de données des propriétés des matériaux
  - Accessible à la communauté scientifique et industrielle.
- Développer des modèles prédictifs
  - Pour faciliter la conception de futurs aimants supraconducteurs plus efficaces et robustes.

##### Défis du projet

- Comprendre et modéliser les propriétés des rubans REBCO
  - Les rubans REBCO possèdent un fort potentiel, mais leurs propriétés sous conditions extrêmes (champs magnétiques intenses, basses températures, contraintes mécaniques) restent mal caractérisées. Sans cette compréhension fine, impossible de concevoir des conducteurs fiables pour la fusion. SF-Tape doit donc établir une base de données robuste et développer des modèles multi-physiques prédictifs pour maîtriser leur comportement ;
- Stabiliser et optimiser un matériau clé
  - Les performances des rubans REBCO varient selon les fabricants et même au sein d'un même lot, rendant leur utilisation incertaine pour des applications critiques. SF-Tape doit identifier et réduire ces fluctuations, optimiser leur architecture et définir des critères rigoureux de sélection et d'amélioration, afin de garantir un matériau homogène et maîtrisé ;
- Assurer la compatibilité avec les exigences industrielles
  - Aujourd'hui, les rubans REBCO ne répondent pas encore aux exigences de l'industrialisation : coût élevé, variabilité des performances, compatibilité avec les procédés d'assemblage. SF-Tape doit établir des standards de contrôle qualité, proposer des ajustements aux processus de fabrication et poser les

bases d'une production à grande échelle, condition indispensable au développement des futurs conducteurs et aimants supraconducteurs.

### Méthodologie et approche

- Caractérisation avancée des matériaux
  - Analyse mécanique (résistance, déformation sous contraintes, vieillissement) ;
  - Étude thermique (conductivité, stabilité sous refroidissement) ;
  - Tests électromagnétiques (capacité de transport de courant, réponse sous champ magnétique élevé).
- Modélisation et simulation multi-physique
  - Développement d'outils numériques pour prédire les performances des rubans ;
  - Validation expérimentale des modèles avec des tests en laboratoire ;
  - Études comparatives de rubans issus de différents fournisseurs ;
  - Élaboration de recommandations pour améliorer les procédés de fabrication.
- Optimisation et personnalisation des rubans
  - Études comparatives de rubans issus de différents fournisseurs.
  - Élaboration de recommandations pour améliorer les procédés de fabrication.

## Annexe 2.2 – PC2 (SF-Cond)

### Développement de conducteurs fort courants à base de supraconducteurs à haute température critique.

<https://suprafusion.fr/programme-suprafusion/pc-02-sf-cond/>

Le projet SF-Cond vise à développer des conducteurs à fort courants à base de supraconducteurs à haute température critique (SHTc) pour les applications de fusion par confinement magnétique. L'objectif est de concevoir, prototyper, tester et qualifier des conducteurs multi-rubans capables de transporter des courants allant jusqu'à 80 kA en totalité sous des champs magnétiques élevés (20 T), tout en garantissant une grande résistance mécanique et un refroidissement cryogénique efficace, pour un fonctionnement sûr et stable.

#### Contexte scientifique

Jusqu'à présent les applications utilisant des SHTc ont principalement utilisé des bobinages à un ou deux rubans, permettant le transport de quelques centaines à un millier d'ampères.

Cependant, pour atteindre des champs magnétiques élevés, et en particulier pour les grands aimants pour la fusion magnétique, l'utilisation d'un mono-ruban devient insuffisante et inadéquate.

#### Enjeux scientifiques et technologiques

- Améliorer le transport des courants élevés
  - Développer des conducteurs SHTc capables de transporter des dizaines de milliers d'ampères, indispensables pour les aimants de fusion
- Créer des bobines multi-rubans
  - Concevoir des architectures multi-rubans qui permettent de répartir le courant et de limiter les défaillances locales.
- Développer des applications industrielles
  - Assurer une production industrielle fiable et rentable pour des applications telles que les réacteurs de fusion, les IRM haute performance et les réseaux électriques supraconducteurs.
- Valider les conducteurs dans des conditions réelles

- Tester les conducteurs dans des environnements simulant les contraintes extrêmes de la fusion : champs magnétiques intenses, courants élevés, refroidissement cryogénique.

### Défis du projet

- De la petite à la grande échelle
  - Passer des champs élevés sur des petits prototypes à des aimants de grande taille (1-2 m) avec 100 MJ, en surmontant les défis liés aux forces de Lorentz et aux contraintes thermomécaniques.
- Maîtriser les effets cumulés
  - Gérer les défauts potentiels comme la délamination des rubans REBCO, les points faibles dus aux traitements thermiques et les contraintes mécaniques d'assemblage.
- Industrialisation de la technologie
  - Assurer la compatibilité avec les outils industriels, produire des longueurs de conducteurs fiables et garantir un contrôle qualité rigoureux.

### Méthodologie et approche

- Revue et analyse
  - Étudier les conducteurs existants, définir les performances clés et identifier les besoins spécifiques des aimants de fusion.
- Innovations et tests
  - Proposer des conceptions innovantes, fabriquer des prototypes et les tester dans des conditions réelles (forts champs, cryogénie).
- Synergie avec les projets SupraFusion
  - Collaborer avec les autres projets du programme pour intégrer les avancées sur les matériaux, la protection des aimants et la conception des systèmes de fusion.

## Annexe 2.3 – PC3 (SF-Protection)

### Protection des bobines SHTc pour une utilisation sûre

<https://suprafusion.fr/programme-suprafusion/pc-03-sf-protection/>

Le projet SF-Protection vise à développer des stratégies innovantes de protection des bobines supraconductrices à haute température critique (SHTc), notamment celles basées sur les rubans REBCO, pour garantir un fonctionnement sûr et fiable des aimants de grande taille utilisés dans des applications comme la fusion nucléaire. Il s'agit de comprendre, modéliser et contrôler les phénomènes de dissipation et de *quench* (*c'est-à-dire le passage brutal à un régime dissipatif entraînant un échauffement rapide et un effet d'avalanche thermique*) et de développer des techniques de bobinage et des systèmes de détection avancés.

#### Contexte scientifique

Les nouveaux supraconducteurs REBCO de 2e génération marquent une avancée clé : ils permettent de créer de puissants champs magnétiques (>20 T) tout en fonctionnant à des températures plus élevées, idéales pour la fusion, l'imagerie médicale et les accélérateurs.

Bien que prometteurs, ils restent vulnérables aux surchauffes soudaines (quench), nécessitant des protections efficaces. Ce projet vise à adapter et améliorer les solutions actuelles, en s'appuyant sur l'expertise des partenaires pour développer des stratégies de protection adaptées aux grandes installations.

#### Enjeux scientifiques et technologiques

- Compréhension du quench

- Modéliser et comprendre les phénomènes complexes de quench dans les bobines REBCO.
- Techniques de bobinage innovantes
  - Développer des stratégies d'isolation et de bobinage résistantes et adaptées aux conducteurs multi-rubans.
- Détection précoce
  - Créer des systèmes de détection de quench sensibles et fiables pour prévenir les avalanches thermiques.

### Défis du projet

- Assurer la protection des grands aimants
  - Adapter les stratégies de protection développées sur des petits prototypes aux grands aimants multi-rubans de fusion, soumis à de fortes contraintes thermiques et mécaniques.
- Gestion des risques du quench
  - Identifier et surmonter les risques liés aux surchauffes localisées, à l'hétérogénéité des conducteurs et aux densités d'énergie élevées.
- Collaboration et innovation
  - Assurer la compatibilité avec les technologies industrielles existantes tout en développant des approches innovantes de bobinage et de détection.

### Méthodologie et approche

- Compréhension et modélisation
  - Compréhension et modélisation du quench à travers des tests expérimentaux et le développement d'outils numériques.
- Exploration
  - Exploration de nouvelles techniques de bobinage et d'isolation pour améliorer la résistance et la fiabilité des bobines.
- Mise au point
  - Mise au point de systèmes de détection avancés pour identifier les quenches de manière précoce et prévenir les dégâts.

## Annexe 2.4 – PC4 (SF-Demo)

### Démonstrateur grande échelle d'aimant supraconducteurs à haute température critique

<https://suprafusion.fr/programme-suprafusion/pc-04-sf-demo/>

Le projet SF-Demo vise à concevoir, développer, fabriquer et qualifier un démonstrateur grande échelle d'aimants supraconducteurs à haute température critique (SHTc). L'objectif est de valider cette technologie pour des applications industrielles, notamment dans les centrales à fusion compactes, en surmontant les défis technologiques actuels et en atteignant un niveau de maturité technologique (TRL 4).

#### Contexte scientifique

Les supraconducteurs à haute température (SHTc) ouvrent de nouvelles perspectives passionnantes dans des domaines variés comme l'énergie, la santé et la recherche fondamentale. Contrairement aux technologies actuelles, les SHTc permettent de produire des champs magnétiques puissants tout en fonctionnant à des températures plus faciles à maintenir, réduisant ainsi les coûts et les contraintes techniques.

Ce projet se distingue par son ambition de repousser les limites technologiques, en créant des aimants capables de répondre aux besoins extrêmes des centrales de fusion, mais aussi des équipements médicaux et des accélérateurs

de particules.

SF-Demo se positionne comme un pont entre la recherche fondamentale et les applications industrielles, en relevant des défis tels que la gestion de fortes contraintes mécaniques, la production de conducteurs fiables et l'industrialisation de ces technologies de pointe. Ce contexte scientifique montre l'importance cruciale d'un démonstrateur pour valider ces innovations et ouvrir la voie à une nouvelle ère technologique.

### Enjeux scientifiques et technologiques

- Démonstration d'aimants SHTc grande échelle
  - Valider la faisabilité d'aimants de plus de 20 T avec une énergie stockée de l'ordre de 100 MJ.
- Maîtrise des contraintes mécaniques et thermiques
  - Assurer la robustesse des aimants dans des conditions sévères propres aux futures machines de fusion.
- Développement des technologies clés
  - Produire des conducteurs SHTc, joints et systèmes de protection adaptés aux grands aimants.
- Transition vers l'industrialisation
  - Mettre en place les infrastructures pour fabriquer et tester des prototypes et un démonstrateur final au CEA.

### Défis du projet

- Gestion des forces de Lorentz et des énergies emmagasinées
  - Assurer la stabilité des aimants sous des contraintes mécaniques et énergétiques élevées.
- Développement de conducteurs et connexions SHTc fiables
  - Produire des conducteurs de grande longueur et des joints robustes.
- Protection contre les quenches
  - Mettre en place des systèmes de détection et de protection pour prévenir les dommages lors des pertes de supraconductivité.

### Méthodologie et approche

- Conception et plan de développement
  - Analyse des risques, conception et évaluation des options du démonstrateur.
- R&D et prototypage
  - Développement des briques technologiques, prototypage à moyenne échelle et mise en place des infrastructures.
- Fabrication et tests
  - Fabrication du démonstrateur final et tests à température cryogénique dans l'infrastructure MATTRICS du CEA.

## Annexe 2.5 – PC5 (SF-Plant)

### Centrale électrique à fusion compacte basée sur les supraconducteurs haute température

<https://suprafusion.fr/programme-suprafusion/pc-05-sf-plant/>

Le projet SF-Plant vise à évaluer dans quelle mesure les supraconducteurs haute température (SHTc) permettent la construction de centrales électriques à fusion plus compactes et attractives que celles utilisant des supraconducteurs basse température. Il s'agit d'explorer un large domaine de paramètres et de solutions technologiques, tout en identifiant les verrous et designs candidats pour de futures centrales.

## Contexte scientifique

La fusion nucléaire repose sur la création et le maintien d'un plasma chaud, confiné par des champs magnétiques. Les supraconducteurs haute température offrent une opportunité unique d'intensifier ces champs, rendant possible des réacteurs plus petits et potentiellement plus abordables.

Cependant, cette technologie, bien que prometteuse, soulève des défis d'ingénierie : forces extrêmes sur les structures et gestion de la chaleur intense. Le projet SF-Plant s'inscrit dans cette exploration, combinant recherches fondamentales et simulations de pointe pour évaluer la faisabilité de telles centrales, tout en contribuant à l'avancée des connaissances scientifiques et au développement technologique.

## Enjeux scientifiques et technologiques

- Forces de Laplace
  - Gérer les forces intenses sur les bobines induites par les champs magnétiques élevés.
- Flux de chaleur et Technologies cryomagnétiques
  - Réduction des flux thermiques sur les composants exposés au plasma et développement de systèmes de refroidissement efficaces pour les SHTc.
- Conception système
  - Optimiser les designs de centrales compactes via des codes de simulation.
- Modélisation avancée
  - Améliorer les modèles de confinement et de transport dans les plasmas.

## Défis du projet

- Maîtrise des contraintes mécaniques
  - Gérer les forces élevées sur les structures.
- Gestion thermique
  - Maintenir des performances optimales malgré des flux de chaleur intenses.
- Modélisation précise
  - Améliorer la précision des simulations pour des conceptions optimisées.

## Méthodologie et approche

- Études initiales et outils
  - Développement des codes D0FUS et adaptation de SYCOMORE pour les SHTc, premières études de dimensionnement des tokamaks.
- Modélisation avancée et intégration
  - Intégration des modèles améliorés (forces de Laplace, flux thermiques) dans SYCOMORE, analyses de conceptions détaillées incluant tokamaks et stellarators.
- Validation et résultats
  - Validation des designs candidats, analyses socio-économiques et production de rapports finaux avec mise à disposition des codes à la communauté scientifique.



# 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-SupraFusion@agencerecherche.fr](mailto:PEPR-SupraFusion@agencerecherche.fr)

