

## Un Programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) sur les supraconducteurs à haute température pour application à la fusion

Pascal Tixador (CNRS, Grenoble-INP),  
Pierre Védrine (CEA - IRFU), Jérôme  
Bucalossi (CEA - IRFM)

Les travaux sur la fusion thermonucléaire sont plus anciens que ceux sur les supraconducteurs à haute température critique (SHTC). La fusion par voie magnétique est associée à la supraconductivité pour assurer le confinement magnétique du plasma à plus de 100 millions de degrés. Le projet international le plus avancé, ITER, est en cours de construction à Cadarache dans le sud de la France, là où le CEA avait construit la première machine supraconductrice de fusion (Tore Supra).

Les inductions magnétiques intenses possibles avec les SHTC ouvrent des perspectives particulièrement prometteuses pour la fusion puisque la puissance du réacteur varie comme la puissance 4 de l'induction ! Ceux-ci offrent donc la possibilité unique de réacteurs compacts. Les défis scientifiques et techniques restent en revanche considérables

### Le PEPR « SupraFusion »

C'est afin de répondre au changement récent de paradigme des SHTC que le PEPR « SupraFusion » a été monté par le CEA et le CNRS.

SupraFusion ambitionne de développer toute la technologie des SHTC, en utilisant les réacteurs de fusion thermonucléaire comme vecteur de développement, mais bien d'autres applications seront explorées. SupraFusion vise à développer les technologies de base, indispensables aux applications. Parmi les nombreux défis à relever, l'un concerne

la protection des aimants SHTC, c'est-à-dire leur fonctionnement sûr sans risque de détérioration irréversible. Une autre gageure est le câble constitué d'un assemblage de rubans.

Les problématiques de SupraFusion sont fondamentalement interdisciplinaires. Les objets visés sont des dispositifs électriques, mais leur fonctionnement à basse température induit des challenges en termes de refroidissement et de cryogénie. Un des verrous majeurs pour les réacteurs SHTC compacts de fusion reste la mécanique : comment trouver une structure pour résister aux forces gigantesques liées aux inductions énormes qui sont utilisées (> 20 T).

Les impacts environnementaux seront étudiés et analysés avec soin via des analyses de cycle de vie (ACV) notamment. De premières études menées par le KIT (Allemagne) montrent que l'ACV d'un ruban REBCO est plus favorable pour la majorité des critères qu'un conducteur en cuivre ou en aluminium sachant que cet avantage sera renforcé par l'augmentation future des performances de transport des rubans.

### Le démonstrateur

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. L'objectif visé pour ce démonstrateur réalisé dans l'industrie se situe au niveau TRL 4. Il sera testé dans des conditions les plus représentatives possibles avec une instrumentation complète pour qualifier au mieux ce démonstrateur et avoir des réponses précises sur toutes les solutions technologiques retenues et les outils de conception et de simulation. Les essais utiliseront la station mise à niveau du CEA Saclay utilisée auparavant pour les tests des bobines de JT60SA.

Autour de ce démonstrateur, le programme comprend trois autres projets

ciblés pour développer les technologies de base :

- Caractérisation et optimisation des rubans REBCO.
- Développement d'un câble fort courant, assemblage de plusieurs rubans REBCO.
- Protection des aimants pour un fonctionnement sûr.

Le cinquième projet ciblé concerne les réacteurs de fusion SHTC compacts.

Deux appels d'offres compléteront ces cinq projets ciblés pour laisser la place à de nouveaux développements ou idées :

- Développement, technologie et infrastructures ; outils de caractérisations innovants.
- SHTC pour les applications sociétales (I.R.M., applications pour réseau électrique, éolienne, transport, ...) ; il s'agit de repenser les applications et les besoins en fonction de toutes les opportunités offertes par les SHTC.

### La communauté SupraFusion

SupraFusion vise à fédérer encore plus la communauté française, académique, industrielle, acteurs publics et privés. Une partie de cette communauté se connaît déjà bien à travers la commission cryogénie et supraconductivité de l'association française du froid ([www.affccs.org](http://www.affccs.org)). La fédération de recherche sur la fusion par confinement magnétique regroupe, elle, la communauté fusion. Pour utiliser au mieux les forces et les moyens, SupraFusion travaillera en synergie par exemple avec la DGA, impliquée historiquement dans les applications supraconductrices. Des synergies avec des actions internationales, européenne en particulier seront aussi recherchées.

Au CEA sont principalement impliqués les départements DACM (Saclay) et l'IR- ●●●

- FM (Cadarache). Le DSBT (Grenoble) interviendra en cryogénie.

Les laboratoires académiques engagés sont, pour l'instant, le Crismat, le GeePs, le Green, le G2Elab, l'Institut Néel, le LMPS, le LNCMI et MISTRAL. Tous les laboratoires travaillant dans le domaine sont invités à participer à SupraFusion. C'est en partie l'objectif des deux appels d'offres que de susciter de nouveaux acteurs et des développements originaux.

Les industriels déjà intéressés par SupraFusion sont nombreux : Absolute System, Air liquide, Alsymex, Axon, BASE, CNIM, General Electric, Nexans, Renaissance Fusion, SigmaPhi. Les industriels ne peuvent pas participer <sup>1</sup> directement à un PEPR exploratoire, mais ils seront impliqués dès les phases exploratoires pour optimiser et accélérer l'innovation. De nouveaux partenariats industriels sont également recherchés. ■

## Le prix Branly 2023 a été attribué à deux enseignants chercheurs : Cécile Floer et Olivier Thouvenin

Le prix Edouard Branly récompense un jeune chercheur pour des travaux de recherche remarquables dans le domaine des sciences physiques, notamment celui des ondes, de l'optique ou de l'électronique, avec éventuellement une perspective d'application sociétale. Une part importante du travail récompensé doit avoir été effectuée en France. Le prix Edouard Branly, attribué depuis 1990 par l'Association des amis d'Edouard Branly, a permis de reconnaître des travaux de recherche de grande qualité effectués dans l'esprit de l'œuvre de ce savant qui a su associer recherche fondamentale et applications. Il

<sup>1</sup> Sur les programmes PEPR, seuls les laboratoires académiques peuvent recevoir des financements publics

a notamment réalisé en 1890 la première liaison radioélectrique sans fil.

Depuis 2010, la **Fédération Française des Sociétés scientifiques (F2S) s'est jointe à l'Association des amis d'Edouard Branly** pour assurer la pérennité du prix. En 2024, l'**Institut Pierre Lamoure** a cofinancé le prix Branly avec ces deux associations.

Le prix 2023 a été attribué conjointement aux deux lauréats suivants :

### Cécile Floer

Après des études d'ingénieur et un post doctorat à l'université de San Diego, Cécile Floer a rejoint l'institut Jean Lamour de Nancy et l'IUT Nancy-Brabois. Le prix récompense un nouveau capteur de température sans fil, sans batterie, qualifié « d'imperceptible » sur le corps humain. Il est basé sur un dispositif à ondes acoustiques guidées, lui-même réalisé à partir d'un empilement de trois matériaux, et sur des antennes étirables fabriquées avec un élastomère ultrafin. Le procédé développé, original et novateur, trouve parfaitement sa place dans le cadre de l'amélioration du confort et de l'autonomie des séniors. Cécile a donc tra-

vailé sur un sujet ambitieux dont les enjeux scientifiques, industriels et socio-économiques sont de grande importance.

### Olivier Thouvenin

Après une thèse sur le couplage électromécanique dans les neurones et un post-doctorat à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière, Olivier a rejoint l'Institut Langevin en tant que maître de conférence. Pour l'étude des hypothèses de couplage électromécanique dans les neurones, Olivier Thouvenin a été amené à développer des microscopes interférométriques de très grande sensibilité. Pendant sa thèse, il a développé une nouvelle méthode d'imagerie, appelée tomographie à cohérence optique plein champ dynamique permettant de caractériser à la fois l'architecture des tissus biologiques, la distribution et l'activité des cellules du tissu. Cette technique ouvre de nombreuses applications en médecine et en biologie fondamentale. Olivier Thouvenin a également développé un microscope tomographique, très peu coûteux, qui permet d'envisager l'étude de nombreuses espèces, et bien d'autres objets qui sont des marqueurs de la dégradation de la biodiversité. ■ ML



■ Cérémonie de remise du prix : les deux lauréats encadrent le buste d'Edouard Branly à l'Institut catholique de Paris dans les lieux mêmes où se situaient le bureau et le laboratoire du savant.