

Appel à projet « Projets P2I 2023 »

Titre du projet /Title of the project: Décontamination de Composants Accélérateurs par Plasma améliorée

Acronyme /Acronym: DECAP+

Durée du projet : 1 an

Responsable du projet :

Prénom : David
 Nom : Longuevergne
 Courriel : david.longuevergne@ijclab.in2p3.fr
 Unité : IJCLab

Autres unités associées :

Unité : IRFU, GANIL, LPP, INSP, LPSC

Contact projet au sein de l'unité : E. Cenni (IRFU), R. Levallois (GANIL), G. Curley (LPP), S. Guilet (INSP), Y. Gomez-Martinez (LPSC).

L'ensemble de ces personnes n'ont pas de tâches particulières ni d'engagements dans le projet IN2P3 « DECAP » mais suivent et participent aux avancées en tant qu'intéressés et experts dans le domaine des plasmas et cavités SRF.

Visa du directeur de l'unité du porteur et, le cas-échéant, par le ou les directeurs des unités associées au projets :

Thématique (compatible avec la stratégie de P2I) : physique des accélérateurs

Budget prévisionnel :

Nature	Description brève / Brief description	Montant demandé / Grant request	Autres financements / Other source of funding
Équipement	Amplificateur RF de puissance large bande 80 MHz-1 GHz	40 k€	IN2P3 fonctionnement + thèse sur 3 ans
Fonctionnement	X		
Personnel CDD	X		
TOTAL		40 k€	

Chaque ligne budgétaire est à détailler au maximum en regroupant les dépenses par nature.

Résumé de la proposition / Abstract

Le projet DECAP+ vise à compléter le projet DECAP (Décontamination de composants accélérateurs). L'IN2P3 finance aujourd'hui l'ensemble des activités du projet DECAP sur trois ans (2023-2025) (petits équipements, consommables, missions) ainsi qu'une thèse sur le sujet. La demande DECAP+ permettra d'améliorer notamment les capacités d'étude de la technique de décontamination plasma en faisant l'acquisition d'un amplificateur radiofréquence large bande capable d'exciter les modes d'ordres supérieurs

jusqu'à 1 GHz.

Contexte scientifique / Scientific context

Les cavités accélératrices sont le cœur d'un accélérateur de particule. Elles permettent de transformer l'énergie électromagnétique d'une onde radio-fréquence (RF) en énergie cinétique transférée au faisceau de particules chargées. Les champs électromagnétiques à haute fréquence (de l'ordre de 50 MHz à 1 GHz) en résonance dans de telles structures supraconductrices en Niobium (de l'ordre de la dizaine de MégaVolts/m) permettent des accélérations puissantes (plusieurs dizaines de kilowatts de puissance RF) en continu et cela en ne dissipant seulement quelques Watts dans l'hélium liquide.

Au fil des années, il a été observé pour certaines cavités en opération dans les accélérateurs, une dégradation continue de leur performance avec l'apparition ou le renforcement du phénomène parasite d'émission de champ. Ce phénomène, causé par la pollution de surface favorisant l'émission et l'accélération d'électrons par les champs électromagnétiques, entraîne la génération d'un rayonnement ionisant X par freinage Bremstrahlung des électrons dans la matière. Ce rayonnement pose non seulement des problèmes de sûreté mais également augmente considérablement la charge thermique sur le bain d'hélium liquide. Ceci implique en général le démontage du cryomodule accélérateur afin de retraiter les cavités accélératrices.

Depuis quelques années, un traitement très prometteur, appliqué sur l'accélérateur SNS par exemple, permet de régénérer « *in-situ* » les performances accélératrices de cavités et d'éviter le démontage complet des cryomodules défaillants. Celui-ci consiste à générer un plasma gazeux réactif par excitation RF d'un mode de résonance de la cavité à l'aide du système RF déjà en place. Ce traitement « *in-situ* » se révèle très efficace pour la réduction du phénomène d'émission de champ.

L'équipe MAVERICS (Matériaux pour Accélérateurs Vide dynamiquE et Recherche Innovante pour Cavités Supraconductrices) et la plateforme Vide & Surfaces du pôle accélérateur d'IJCLab ont récemment commencé l'étude de cette technique afin de l'optimiser et l'appliquer aux systèmes accélérateurs.

Proposition / Proposal

Exposé du projet scientifique et technique_(6000 caractères maximum) :

Le projet DECAP vise à optimiser le procédé de décontamination plasma en menant plusieurs études de R&D en parallèles soit sur échantillon, soit sur une cavité réelle type Spiral2. Ceci permet d'optimiser l'efficacité de décontamination en jouant sur les paramètres gaz, radiofréquence et plasma. Trois critères seront utilisés pour l'optimisation des paramètres :

- La vitesse de décapage évaluée notamment en mesurant en continu l'épaisseur d'un dépôt de carbone à l'aide d'une balance à quartz.
- L'homogénéité du décapage dans une structure complexe telle qu'une cavité quart d'onde Spiral2
- L'altération du matériau de la surface (couche d'oxyde, pollution) ainsi que des propriétés supraconductrices

L'ensemble des travaux menés sur le projet DECAP servira non seulement au développement d'une expertise dans les laboratoires accélérateurs (IJCLab, LPSC et IRFU) mais également au dimensionnement et définition d'un banc de décontamination plasma dédié au traitement des cryomodules Spiral2 au GANIL.

Le projet vise également à monter une collaboration plus large, intégrant des laboratoires experts notamment ayant une expertise reconnue dans la gravure plasma (INSP, Paris) ou dans les diagnostics plasma (LPP, Palaiseau).

La décontamination plasma étudiée dans ce projet concerne le traitement de l'extrême surface c'est-à-dire les couches de contaminants et donc le traitement de l'émission électronique. Cependant, il n'est pas exclu que le traitement plasma puisse altérer (positivement ou négativement) la couche d'oxyde ainsi que la proche surface et donc impacter les propriétés supraconductrices. Ceci sera à qualifier durant le projet et notamment avec la participation de l'INSP.

Des résultats préliminaires obtenus récemment ont montré que la décontamination plasma n'est pas optimale et peut être même problématique pour le coupleur de puissance lorsque le plasma est excité par le mode fondamental à 88 MHz des cavités Spiral2. **La demande DECAP+**, permettra d'améliorer significativement les capacités d'excitation du plasma et tester des modes d'ordre supérieur afin d'améliorer l'extension du plasma et donc l'homogénéité du traitement. Cet investissement pour DECAP+ permettra au projet DECAP d'être compétitif avec les autres laboratoires accélérateurs américains (Fermilab, FRIB, ANL) qui commencent à étudier l'application de cette technique sur les structures accélératrices autres que les cavités elliptiques (cavité Spoke, quart d'onde).

Cette décontamination plasma est d'un intérêt très indéniable pour tous les accélérateurs car elle offre une capacité de « régénération *in-situ* » des surfaces sans le démontage du cryomodule. C'est un gain de temps certain et une diminution des risques liée au démontage complet d'un cryomodule. L'impact ainsi que la visibilité du projet DECAP et du complément DECAP+ sont extrêmement importants, car répond à un besoin des accélérateurs en

fonctionnement (Spiral2), en cours de construction (ESS, PIP2, ...) mais également aux futurs projets accélérateurs (FCCee par exemple) dans lesquels l'université Paris Saclay, le CNRS et le CEA sont pleinement investis.

Organisation et plan de travail du projet (succinct pour les petits projets) (chronogramme/diagramme de Gantt - 1000 caractères maximum) :

Les travaux dans le projet DECAP sont décomposés en 3 tâches :

Tâche 1 : R&D sur banc échantillon avec source commerciale : optimisation de la vitesse de décontamination en fonction du mélange gazeux. Les autres paramètres tels que la pression du gaz, le flux gazeux ne sont a priori pas pertinents car impactent la distribution du plasma et donc son extension vers le porte échantillon et balance à quartz.

Tâche 2 : R&D sur une cavité réelle type Spiral2. Sont étudiés l'influence des paramètres gaz (pression, flux, ...) ainsi que l'influence des paramètres RF (niveau de puissance RF, mode RF excité) sur l'homogénéité du traitement. La demande **DECAP+** concerne précisément cette tâche.

Tâche 3 : Des simulations pourront également être entreprises afin de modéliser le plasma au sein d'une cavité accélératrice et ainsi orienter et faciliter l'optimisation des paramètres. Ceci sera effectué sous COMSOL Multiphysics accessible à l'IN2P3.

Synergie éventuelle entre les laboratoires (complémentarité des actions, intérêt pour les différents partenaires - 500 caractères maximum) :

La collaboration avec le LPP (Palaiseau) offre une occasion unique de pouvoir installer des diagnostiques plasma. Leur expertise ainsi que la disponibilité de systèmes de pointes à travers le réseau plasma froid permettrait d'optimiser le procédé d'un point de vue plasma et décontamination.

Afin de comprendre parfaitement l'impact d'un traitement plasma sur la surface du matériau, une collaboration avec l'INSP (Jussieu) est entreprise. Ils opèrent un banc multi-technique composé d'une chambre de préparation (source plasma ICP, abrasion ionique, four) et d'une chambre d'analyse dédiée à l'analyse chimique (XPS) et structurelle (LEED) de l'extrême surface. L'altération de surface (positive ou négative) pourra être précisément étudiée en fonction du type de mélange gazeux.

Finalement, tous les travaux entrepris et résultats obtenus dans les autres tâches pourront être exploités pour la conception et réalisation d'un banc de conditionnement plasma pour les cryomodules Spiral2 du GANIL.

Composition et expertise des équipes (tableau avec FTE - 1000 caractères maximum) :

Equipe IJCLab investie dans le projet DECAP :

Nom	Statut	Rôle	Domaine d'expertise	FTE par an
Longuevergne David	CR	Responsable projet	Expertise SRF	0.2
Mercier Bruno	IR	Responsable plateforme Vide & Surface	Expertise vide et technologies	0.1
Myiazaki Akira	IR	Soutien scientifique et technique	Expertise SRF	0.2
Camille Cheney	Doctorant			1
Mistretta Eric	IE	Soutien technique	Expertise vide et technologies	0.2

Besoin d'utilisation des plateformes (si pertinent) : *Les responsables de plateforme devront être consultés ; un avis leur sera demandé. A noter qu'il est possible de demander des améliorations des plateformes existantes. Les propositions concernant les plateformes P2I seront privilégiées.*

Le banc de test Plasma décrit est aujourd'hui installé et en opération sur la plateforme Vide&Surface rattachée à l'équipe de recherche MAVERICS (Matériaux pour Accélérateurs Vide dynamiquE et Recherche Innovante pour Cavités Supraconductrices). La plateforme fait partie du pôle Accélérateur d'IJCLab et est maintenant située dans les

halls D3/D4 récemment rénovés en face du bâtiment 209a du campus d'Orsay.

Site web : <https://maverics.ijclab.in2p3.fr/plateforme-vide-et-surfaces/>

Commentaires éventuels : Devis d'un amplificateur RF de 250W large bande Rohde&Schwartz entre 80 MHz et 1 GHz obtenu. Coût de 36 k€.

Financement

Justification de la demande, Indiquez, si applicable, les autres sources de financement obtenues ou demandées.

Le projet DECAP est aujourd'hui financé sur 3 ans (2023-2025) par l'IN2P3 en tant que projet R&T. Un financement de thèse IN2P3 a également été obtenu cette année. Un étudiant M2 va commencer son stage de fin d'étude en avril.

Le formulaire s'appellera:

AAP-P2I-2023 – DECAP+.docx or .pdf

(où l'acronyme est le nom de la proposition, nom du porteur est le nom du responsable du projet).

Ce formulaire devra être envoyé par mail p2i.gs.physique@universite-paris-saclay.fr