

Résumé de soutenance de thèse de Cédric Lhomme

Titre : Etudes d'optimisation de systèmes de distribution et de contrôle cryogéniques de l'Accélérateur Linéaire Supraconducteur du projet MYRRHA

Résumé : La transmutation est un procédé permettant de stabiliser les stocks de déchets à haute activité et à vie longue (HA-VL), produits dans le monde par les réacteurs nucléaires à neutrons lents, qui peut notamment être mis en œuvre dans des réacteurs pilotés par accélérateur : une source de spallation, utilisant un accélérateur à proton, contrôlant la criticité d'un cœur à neutrons rapides dédié.

En Europe, le projet de développement d'un tel concept, MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications), fort de nombreuses phases de R&D depuis 25 ans, prévoit la mise en marche d'un démonstrateur préindustriel à horizon 2040. Sa source de neutrons nécessite un faisceau continu de proton d'énergie de 600 MeV et de courant 4 mA, que seuls les plus puissants accélérateurs de particule supraconducteurs peuvent fournir. Le fonctionnement du réacteur impose de surcroît des contraintes aiguës de dynamique faisceau, qui en retour, implique une fiabilité jamais atteinte des sous-systèmes accélérateurs, un défi accentué par le besoin d'un système sobre en énergie. La première section accélératrice de MYRRHA allant jusqu'à 100 MeV, MINERVA, est en construction en Belgique par le SCK•CEN pour un premier faisceau en 2027 : en plus de fournir un faisceau à deux stations de cibles, MINERVA doit démontrer la faisabilité de MYRRHA.

Le cryomodule constitue le cœur de la section accélératrice ; suivant une stratégie modulaire, trente exemplaires identiques seront produits et alignés. Le cryomodule héberge les cavités accélératrices radiofréquence supraconductrices et concentre toutes les fonctions nécessaires à leur fonctionnement optimal.

L'exigence élevée de fiabilité combinée à la contrainte d'efficacité énergétique globale exige une approche système, plutôt qu'une optimisation individuelle des fonctions de chaque composant.

Pour permettre cette approche, cette thèse propose de développer un modèle de process détaillé du cryomodule, qui intègre les couplages forts entre les fonctions cryogénie, radiofréquence et système d'accord mécanique, leur dynamique interne ainsi que leurs systèmes de contrôle respectifs. Les efforts conséquents de développement d'un tel modèle se justifient par l'ensemble des applications de cet outil de simulation pendant la phase de prototypage de MINERVA, jusqu'à la mise en marche de l'accélérateur, et au-delà.

Suivant une démarche ascendante, les modèles de composants tels que construits ont été développés à partir de l'analyse approfondie de leurs caractéristiques réelles. Le jumeau numérique ainsi créé est utilisé en support des tests du prototype, pour mettre au point ses systèmes de contrôle en amont des essais et pour en analyser ensuite les performances. En retour, le modèle est validé sur des données expérimentales. Enfin, en vue de la série, plusieurs applications du modèle sont illustrées : la mise à jour du design des composants, la mise en place d'une plateforme virtuelle de validation du contrôle et commande, et d'un outil de classification des quenchs.