

Le projet **HELPING**

Renforcement de la polarisation nucléaire des gaz rares à haut champ

High field Enhancement of nuclear Polarisation In Noble Gases

La **résonance magnétique nucléaire (RMN)** est une puissante méthode d'analyse utilisée en recherche, en médecine et dans l'industrie. Son usage est restreint par une faible sensibilité de détection par induction, même à haut champ (plusieurs teslas). Une limite intrinsèque réside dans la faible différence d'énergie induite entre les états de spin nucléaire. Une autre provient de l'infime polarisation nucléaire établie à l'équilibre thermodynamique (écart relatif de population entre états d'orientations de spin opposées). Les techniques d'**hyperpolarisation** permettent d'augmenter (transitoirement) la polarisation nucléaire disponible par plusieurs ordres de grandeur et, donc, de s'affranchir de la seconde limite. Elles ont ouvert la voie à de remarquables applications en RMN et au-delà.

L'**hyperpolarisation par pompage optique** est très efficace pour les gaz rares utilisés en imagerie pulmonaire fonctionnelle, en biomédecine et en recherche fondamentale. Elle a été surtout étudiée et réalisée à faible champ magnétique (1 – 10 mT) alors que les mesures RMN, elles, sont majoritairement effectuées à haut champ où le signal capté est plus élevé (plus haute fréquence de détection) et la résolution spectrale meilleure (plus grands déplacements chimiques).

L'**hyperpolarisation des gaz rares à haut champ, peu explorée jusqu'ici, est au cœur du projet HELPING**. Elle présente un intérêt fondamental (opération dans des conditions physiques nettement différentes, compréhension affinée des mécanismes sous-jacents) et pratique (possibilité de réduire, voire de supprimer, le temps de transport du gaz vers la zone de détection). L'enjeu est d'aboutir à une efficacité optimale, en composant avec l'influence du champ magnétique (sur les atomes, leurs interactions et les taux de relaxation nucléaire) et les contraintes matérielles (de magnétisme, de taille) au sein du système RMN.

Le projet concerne avant tout l'**hyperpolarisation des atomes de spin nucléaire 1/2, ^{129}Xe et ^3He** . Il inclut aussi des tests avec des isotopes quadrupolaires, ^{21}Ne (spin 3/2) et ^{83}Kr (spin 9/2). Le xénon interagit fortement avec son environnement; la grande variabilité du déplacement chimique du ^{129}Xe le rend très utile en spectroscopie RMN. L'hélium est un petit atome qui interagit peu avec ce qui l'entoure; ^3He a de faibles taux de relaxation nucléaire et peut pénétrer des cavités de taille réduite. ^{21}Ne et ^{83}Kr peuvent apporter des compléments d'information sur divers matériaux ou milieux, plus simples à obtenir (^{21}Ne) ou plus riches (^{83}Kr), notamment sur leur état de surface.

Le projet HELPING s'appuiera sur des **mesures combinant diagnostics optiques et RMN** qui peuvent s'effectuer dans un spectromètre/imageur 7 T à large cavité récemment acquis par les partenaires du projet. Il exploitera les caractéristiques exceptionnelles de cet instrument, qui offre une haute qualité d'analyse et d'imagerie 3-axes. Le travail commencera par les développements instrumentaux requis pour opérer dans (ou très près de) la zone de détection. Il se poursuivra par l'étude de trois méthodes d'hyperpolarisation à haut champ, avec:

- l'analyse détaillée du pompage optique par échange de spin (SEOP) du ^{129}Xe et des tests avec ^{83}Kr ;
- l'analyse des limites du pompage optique par échange de métastabilité (MEOP) dans ^3He , son extension aux mélanges gazeux ^3He - ^4He et l'opération à des températures cryogéniques,
- l'exploration d'une nouvelle méthode non-optique découverte pour ^3He – la polarisation d'atomes dans un plasma aimanté (PAMP) – et de ses extensions possibles (mélanges ^3He - ^4He ; ^{21}Ne ; basse température).

Modèles théoriques et simulations seront développés pour expliquer les résultats obtenus et proposer des conditions opératoires susceptibles de maximiser la polarisation ou l'aimantation nucléaire (produit de polarisation par la densité atomique) des divers gaz rares. Le travail sera appliqué aux domaines de la caractérisation des matériaux poreux et de la magnétométrie.