

DE NOUVEAUX EFFETS INDUITS PAR UNE AIMANTATION NUCLEAIRE INTENSE

L'accroissement des performances de la RMN induit des effets non-linéaires liés aux interactions entre spins nucléaires distants ou entre les spins et le système de détection.

Les démarches entreprises technologiquement visent à rendre la résonance magnétique nucléaire et son application la plus connue, l'imagerie par résonance magnétique, de plus en plus sensibles. Pour cela, des aimants toujours plus puissants, des bobines de radiofréquence toujours plus optimisées sont développés, ou des systèmes transitoirement sur-polarisés (hyperpolarisés) sont utilisés.

Cependant, cette recherche continue d'un signal toujours plus intense conduit à ce que certains termes, initialement négligés, redeviennent prédominants du fait d'une amplification par des processus non-linéaires. Ils sont de deux types, les interactions entre moments magnétiques nucléaires distants (chacun créant un champ magnétique ressenti par tous les autres) et les interactions de chacun de ces moments avec la bobine rf qui sert à la fois à l'excitation et à la détection du signal.

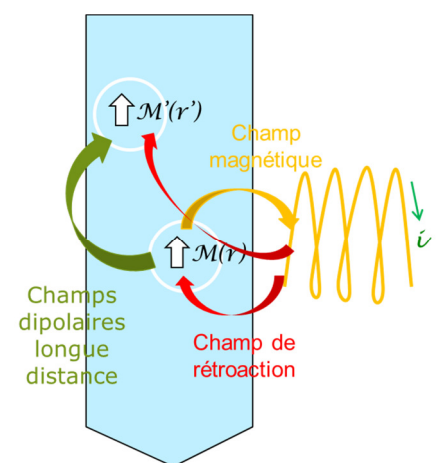
Ces processus non linéaires sont en fait sources de comportements hautement instables ou remarquables (émissions masers), mais aussi sources d'améliorations technologiques puisque des dispositifs ou des méthodes originales de détection peuvent être proposés et testés.

Une question, des méthodes convergentes d'investigation.

Pour aborder ces phénomènes nombreux et variés, le consortium a profité d'une palette de méthodes et d'instruments complémentaires dont les différents partenaires disposent : xénon-129 hyperpolarisé étudié à haut champ magnétique avec des bobines rf potentiellement fabriquées à façon, hélium-3 polarisé par pompage optique utilisé dans un système RMN à basse température et à basse fréquence, ou encore spectrométrie en champ magnétique intense avec des bobines de détection refroidies. Ces méthodes expérimentales sont complétées par des développements théoriques et des simulations numériques intensives, afin de comparer les prédictions aux observations et, ainsi, progresser dans la compréhension des phénomènes non linéaires et pouvoir proposer des solutions et de nouvelles applications robustes.

Du point de vue fondamental deux axes ont conduit à des résultats majeurs. S'appuyant sur un important travail théorique, l'approche de détection par bruit de spin a pu être étendue vers les applications avec la détection d'effets isotopiques, la mesure de la diffusion brownienne ou l'obtention de spectres à deux dimensions. En combinant expériences et simulations numériques, l'origine des émissions masers multiples a pu être comprise et la différence de comportement entre le cas de l'hélium-3 et du xénon-129 pu être liée à l'influence de la diffusion. Ces travaux ont aussi conduit à des progrès de nature technologique avec la réalisation de microsondes de détection RMN et le travail autour des préamplificateurs et de leur possible influence sur la dynamique de spin.

L'ensemble des travaux menés a déjà conduit à la publication d'une dizaine d'articles dans des revues à comité de lecture, et une demi-douzaine devrait encore suivre. Un brevet a été déposé et obtenu. Enfin autour de ce projet deux prix ont été obtenus : V. V. Kuzmin, post-doctorant au Laboratoire Kastler Brossel financé par le projet a obtenu le prix *Laurentiev* 2013, et N. Müller et H. Desvaux ont co-organisé un workshop à Vienne dans le cadre du prix *WTZ Amédée*.



Origine des deux non-linéarités au cœur du projet imagine : le couplage dipolaire entre aimantations distantes et le couplage entre l'aimantation et la bobine.

Le projet IMAGINE est un projet de recherche fondamentale soutenue par une ANR internationale et il était coordonné par le CEA-IRAMIS. Il associe aussi un laboratoire autrichien de l'université J. Kepler de Linz et le Laboratoire Kastler-Brossel de l'ENS à Paris. La société RS2D localisée en Alsace y a aussi participé. Le projet a débuté le 1^{er} mars 2013 pour une durée de 3 ans en France (1^{er} mai en Autriche) et son budget total côté français était de l'ordre de 900k€ pour une aide de l'ANR de 433k€.