

# la diffusion de neutrons

## Avant-propos

L'année 2022 marque les cinquante ans des premières expériences de diffusion de neutrons à l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble en France – le premier cycle des expériences pour des chercheurs externes y fut ouvert en septembre 1972. Cet anniversaire est une excellente occasion de présenter la technique, la science qui en bénéficie – plus particulièrement en chimie –, et de souligner des développements en neutronique actuellement en cours en Europe et en France.

La diffusion de neutrons repose sur l'utilisation de ces particules subatomiques comme sonde pour étudier la matière. Le caractère unique des neutrons est de pouvoir explorer non seulement l'organisation spatiale de la matière (comme les diffractions des rayons X et des électrons) – c'est la diffusion cohérente –, mais aussi la dynamique des atomes comme les spectroscopies vibrationnelles (infrarouge, Raman et électroniques (HREELS)) – c'est la diffusion incohérente, avec la possibilité d'explorer tout le domaine vibrationnel dans la zone de Brillouin. La technique est utilisée à partir de sources de neutrons, réacteurs nucléaires ou sources à spallation, qui sont de très grands instruments. Par conséquent, ce n'est pas une technique de diffusion que les étudiants rencontrent dans leurs travaux pratiques à l'université. Ce n'est souvent qu'à la phase du doctorat que de jeunes scientifiques découvrent cette « cousine » de la diffusion de lumière et des rayons X. Si les principes de la diffusion s'appliquent à tous ces types de rayonnement, les particularités de chaque « sonde » font émerger une puissante complémentarité. La sonde neutronique est particulièrement intéressante pour étudier la structure, le magnétisme et la dynamique (dynamique du réseau, diffusion atomique ou moléculaire). Cette sonde a une sensibilité accrue à l'hydrogène :  $^1\text{H}$  présente une section incohérente environ 40 à 80 fois plus forte que les autres atomes, y compris le deutérium  $^2\text{H}$  (les sections efficaces dépendent du noyau et donc varient pour chaque isotope). Cela contribue au caractère exceptionnel des spectrométries et spectroscopies neutroniques dans l'étude de la matière hydrogénée.

Les domaines scientifiques qui bénéficient de la diffusion de neutrons sont nombreux, de la science des matériaux et du magnétisme à la physico-chimie, de la chimie inorganique à la matière « molle », jusqu'aux systèmes d'intérêt biologique. De ce fait, la méthode est particulièrement pertinente pour de nombreuses problématiques concernant la santé, l'environnement et la transition énergétique ou la révolution numérique.

Le progrès scientifique qui s'appuie sur une technique basée sur de grands instruments est conditionné par la disponibilité des ressources instrumentales et leur accessibilité aux différentes communautés. Comme pour chaque technique expérimentale, l'expérience rêvée motive le développement des outils, et inversement, chaque avancée instrumentale permet de réaliser des expériences novatrices. Sur les grands instruments, coûteux et complexes, il faut pouvoir rêver ensemble, en rassemblant les chercheurs qui viennent effectuer les expériences (les utilisateurs), les experts de la technique (les scientifiques de ligne), et les modélisateurs développant

les programmes efficaces et conviviaux pour une exploitation complète, précise et rapide des mesures. Cet aspect collaboratif est fondamental pour le succès de la science sur grands instruments.

Le paysage des ressources de la diffusion de neutrons en France et en Europe est actuellement en pleine évolution, avec la fermeture de la source française (réacteur Orphée, CEA, et les nombreux instruments du Laboratoire Léon Brillouin, CEA-CNRS) et la construction de la puissante source européenne de neutrons, l'European Spallation Source (ESS) à Lund, en Suède. La construction de l'ESS est un projet collaboratif entre treize pays européens, avec une contribution majeure des pays scandinaves. Selon les dernières estimations, son ouverture pour les utilisateurs sera effective fin 2027. À l'heure actuelle, la plus puissante source européenne, accessible et opérationnelle, est l'Institut Laue Langevin (ILL), situé en France à Grenoble. Très récemment, en septembre 2021, les trois pays qui gèrent cette source – la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni – ont prolongé son opération jusqu'en 2033.

La contrepartie des investissements dans la construction de l'ESS est un affaiblissement du réseau des sources de neutrons nationales. La communauté est impactée par la fermeture en 2019 de trois sources nationales (en France, Orphée, et en Allemagne et Norvège). Selon une enquête récente de l'European Neutron Scattering Association (ENSA), la pénurie de temps de faisceau de neutrons dans les années à venir est extrêmement préoccupante. L'utilisation de l'ESS sera de plus réservée à certaines expériences considérées comme « haut de gamme », qu'il faudra préparer en amont. D'autres expériences, si elles ne nécessitent pas le flux qui sera disponible à l'ESS, restent fondamentales compte tenu des spécificités de la sonde neutronique. Le maintien et le développement d'un réseau d'installations neutroniques plus petites, en synergie avec l'ESS, sont donc d'importance primordiale. Plusieurs projets de sources de neutrons compactes sont actuellement en développement, parmi lesquels le projet SONATE en France, présenté dans ce dossier.

Le dossier commence par une brève histoire de la technique et son lien fort avec la science française, depuis bientôt soixante-quinze ans. Quelques contributions en diffusion de neutrons illustrent le champ des recherches avec un panorama des études en science des matériaux et en magnétisme, ainsi qu'en matière molle. Les projets instrumentaux en cours, aux niveaux européen et français, si essentiels pour le futur de la technique et de la science qui en découle, sont ensuite présentés. Nous clôturons le dossier par la présentation de la Société Française de la Neutronique (SFN) et son homologue européen (ENSA), autour desquelles se structure la communauté des chercheurs, ingénieurs et techniciens concernés par la diffusion des neutrons.

**Natalie MALIKOVA et Philippe COLOMBAN**

*Les coordinateurs remercient Jean-Pierre Foulon et Eric Marceau pour leur contribution à l'élaboration de ce dossier.*