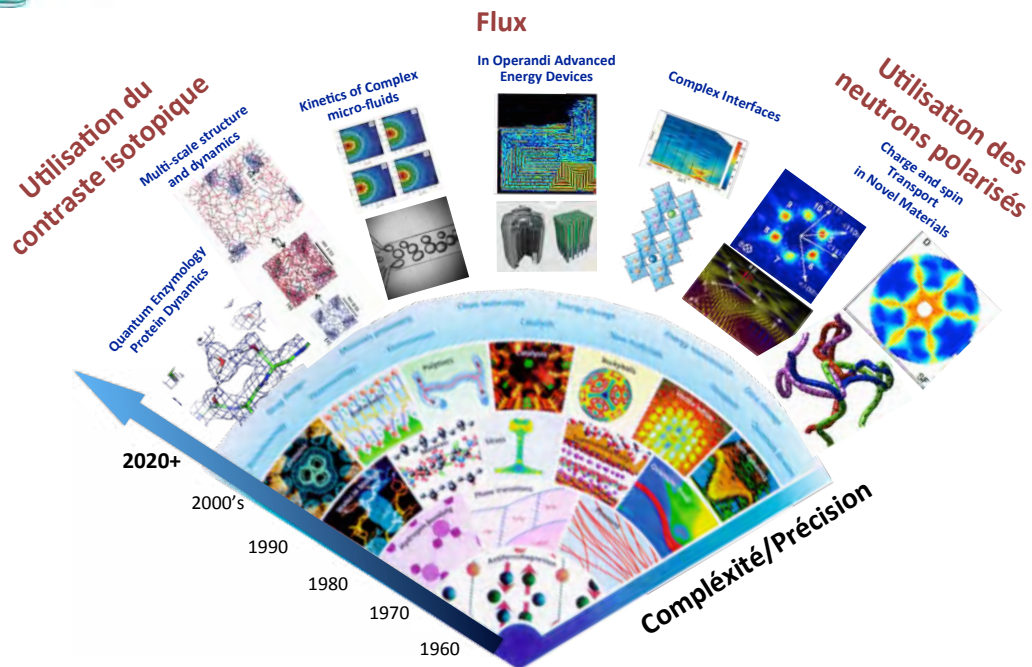


Diffusion neutronique au Laboratoire Léon Brillouin



La recherche avec les neutrons et ses évolutions?



Enquête SFN en 2012 sur les besoins de la communauté pour ESS

<http://www.sfn.asso.fr>

Contenu du rapport

- une présentation synthétique du contexte et des discussions..... 3
- un descriptif non exhaustif des travaux réalisés grâce à la diffusion neutronique, soulignant les points forts et la nécessité de la source nationale..... 6
- des plaquettes synthétiques des recherches menées..... 15
- un ensemble de documents lié au présent rapport :
 - ✓ Proposition de la SFN sur une stratégie scientifique de la diffusion neutronique en France - 2015..... 23
 - ✓ Lettre du comité AERES 2014 du LLB/Orphée – 2015..... 27
 - ✓ Lettre HERCULE European School – 2015..... 32
 - ✓ Lettre du laboratoire PHENIX – 2015..... 34
 - ✓ Lettre de l'Institut NEEL – 2015..... 44
 - ✓ Lettre du laboratoire PAM / AGROSUP Dijon - 2015..... 46
 - ✓ Motions des sections 3, 5, 11 ET 15 du CNRS - 2015..... 49
 - ✓ Lettre de l'Association Française de Cristallographie AFC – 2015..... 56
 - ✓ Lettre de la Fédération Française des Matériaux (fédération de 28 Sociétés Savantes telles que la SFP ou la SCF) FFM – 2015..... 58
 - ✓ Lettre de l' « Asia-Oceania Neutron Scattering Association » – 2015..... 61
 - ✓ Plaquette « Neutrons for science and technology » ENSA – 2015..... 63
 - ✓ Rapport du « Council for Science and Instrumentation », CSI du LLB – Juin 2015..... 70
 - ✓ Rapport International sur l'évaluation du LLB/Orphée - Philippe Nozières, 2003..... 80

Contributions

- Coordination : A. Desmedt (Président de la SFN), ISM Talence
- Conseil d'administration de la SFN. Utilisateurs : A.D., M. Plazanet (LIPhy, Grenoble), J. Combet (ICS Univ. Strasbourg), C. Loupiac (AGROSUP Dijon), G. Rousse. (UPMC Jussieu). Scientifiques du LLB : V. Klosek, F. Porcher, J. Jestin. Scientifiques de l'ILL : P. Fouquet, V. Cristiglio, M. Boehm.
- Scientifiques du Laboratoire Léon Brillouin : C. Alba-Simionesco (Directrice), Y. Sidis, F. Ott, S. Petit, F. Cousin, B. Gillon, J.M. Mignot, A. Brulet, S. Désert, X. Fabrèges, A. Goukassov, S. Longeville, M.H. Mathon, I. Mirebeau, J.M. Zanotti
- Scientifiques du « site grenoblois » : S. Pailhes (ILM, Villeurbanne), V. Simonet (NEEL), S. Lyonnard (CEA/INAC), S. Rols (ILL), C. Simon (Directeur ILL).

Synthèse

La question posée par le Conseil Scientifique de l'Institut National de Physique du CNRS à la communauté des neutroniciens français concerne l'impact scientifique d'une fermeture anticipée du réacteur Orphée (annoncée pour fin 2019), attendant au Laboratoire Léon Brillouin à Saclay. Pour répondre à cette question complexe, une évaluation a été effectuée conjointement par :

- (i) la communauté (via la Société Française de la Neutronique) et les "professionnels" des centres LLB-ILL,
- (ii) les sections nationales de l'INP dont les thématiques sont directement concernées par la diffusion neutronique. Les sections nationales de l'INC (13 et 15) sont également concernées. Leur avis pourrait être ou a éventuellement été transmis via des motions qu'elles ont rédigées.

Le présent rapport affère au point (i) et vise à évaluer les points forts de la diffusion neutronique au sein du centre national LLB/Orphée et par conséquent, les pertes scientifiques occasionnées par une fermeture anticipée d'Orphée, ainsi que ses « effets secondaires ». Il faut souligner le délai imparti très court (3 semaines) pour une telle mission (confiée à l'issue de la réunion du CSI-INP en date du 29 juin 2015).

Evolution de la capacité (en jours.instruments) pour la communauté française



Les neutroniciens européens représentent la majorité de la production mondiale en terme de publications faisant appel à la diffusion neutronique. Selon une étude réalisée en 2011 par l'ENSA - l'Association Européenne de diffusion neutronique, la communauté française constitue près de 30% (1750 utilisateurs fréquents¹) des utilisateurs européens². Les

¹ Scientifiques ayant publié, entre 2001 et 2011, au moins 5 articles faisant appel à la diffusion neutronique.

² L'Allemagne et le Royaume-Uni (nations équipées de sources nationales) représentent des communautés équivalentes en taille.

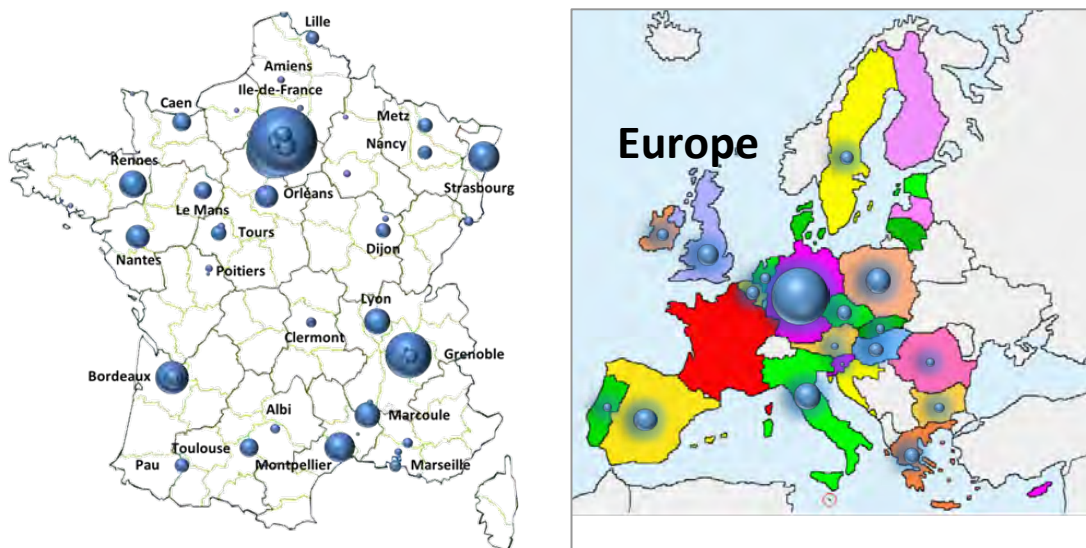
neutroniciens français représentent ainsi **une des communautés les plus importantes et une des plus dynamiques sur la scène européenne**, et contribuent pleinement au rayonnement international de la recherche française. La source nationale de neutrons Orphée/LLB couvre 60 % de la demande française en diffusion des neutrons. **Un des impacts évidents de la fermeture anticipée du réacteur Orphée est donc la capacité à conserver et développer ce « leadership » reconnu.**

La force de la diffusion neutronique réside dans la **simplicité de cette sonde**, due à ses **propriétés uniques** et bien connues: sonde faiblement couplée ne perturbant pas l'objet étudié, pénétration aisée en volume, sensibilité aux degrés de liberté magnétiques, sensibilité aux éléments légers tels que l'hydrogène, énergie et longueur d'onde proche de celles des excitations et relaxations rencontrées dans la matière. De part ses propriétés spécifiques, voire uniques, la diffusion neutronique couvre de nombreux **domaines tant scientifiques que technologiques**. Elle répond à tous les grands enjeux sociétaux allant de l'énergie au renouveau industriel pour reprendre un vocable que nous connaissons tous et défini par l'ANR, le CNRS, le ministère de la recherche ou encore l'Europe (voir plaquette ENSA). Elle donne accès aussi bien à la compréhension fine de mécanismes fondamentaux à l'échelle atomique ou moléculaire, qu'à des études macroscopiques sur des objets volumineux d'intérêt industriel. Citons quelques exemples tels que les réactions chimiques aux interfaces en **chimie** et en **biologie**, dans le secteur **agroalimentaire**, la synthèse **pharmaceutique** ou encore les traitements **médicaux**. Leur fort pouvoir de pénétration en fait une **sonde non destructive** des pales de turbines ou des joints de propulseurs pour l'aéronautique, ou encore pour cartographier les contraintes, à l'origine de la fragilisation d'équipements, comme les roues de trains à grande vitesse. L'étude par diffusion des neutrons des nanoparticules, des systèmes de dimension réduite et du magnétisme est mise à profit pour le **développement des futures générations d'ordinateurs, de technologies innovantes, de stockage des données, de capteurs et de matériaux supraconducteurs**. Dans le domaine de l'**énergie**, des informations uniques (tant structurales que dynamiques) sont obtenues sur les matériaux utilisés dans les batteries, sur le fonctionnement de piles à combustible ou encore sur les matériaux de stockage/tri de gaz (allant de l'hydrogène au captage du CO₂). Son caractère non destructif fait également des neutrons une sonde idéale pour fournir des informations exceptionnelles sur notre **patrimoine historique et culturel**.

Les neutrons ne peuvent être **produits qu'au sein de grandes infrastructures de recherche**. Ce point constitue une spécificité de la sonde neutronique par rapport aux autres rayonnements. Des travaux de recherche utilisant les sondes optiques, X ou encore électroniques peuvent être réalisés « de manière routinière » au sein des laboratoires, avant d'accéder aux grands instruments associés (synchrotrons, X-FEL, etc...). **Pour la diffusion neutronique, cet accès « simple et aisé » n'est donné à la communauté qu'à travers une source nationale**. L'argumentaire de la nécessité d'un tel accès est parfaitement connu tant pour la **recherche** que pour la **formation** (des étudiants de Master aux chercheurs « néophytes ») ou pour l'**industrie**. **Le LLB/Orphée remplit efficacement cette mission depuis plusieurs décennies et est ainsi un acteur majeur de la recherche et des développements technologiques « avec » les neutrons** (reconnu en France et au plan international – voir rapport AERES 2014, rapport 2003 en annexe). **Sans stratégie scientifique à long terme (voir lettre ouverte de la SFN de 2015), fermer prématurément la source nationale revient à :**

- **perdre une position internationale reconnue** (un budget de fonctionnement « modeste », à comparer au niveau de publications : LLB/Orphée est dans les 4 premiers centres publiant mondiaux et représente les 2/3 de la production française),
- **effectuer un choix stratégique « incohérent »** étant donné les investissements français dans la nouvelle source européenne (accélérateur ET instruments). La communauté est impliquée dans la construction de plusieurs instruments approuvés par le conseil scientifique d'ESS: diffractomètre monocristal MAGIC, spectromètre temps-de-vol C-SPEC, diffusion aux petits-angles SKADI, diffractomètre de poudre DREAM, diffractomètre macromoléculaire NMX.
- **sacrifier une communauté dynamique et active.** Les secteurs impactés concernent la recherche (magnétisme, matière molle et matériaux – voir descriptif dans la suite et lettres jointes), la formation (outre les écoles thématiques organisées, la neutronique fait partie de cursus universitaires, à travers des travaux pratiques organisés au sein de LLB/Orphée) et l'industrie (en sus de pertes financières et de la disparition de sous-traitants, citons « quelques industriels » directement impactés par la fermeture d'Orphée : **Ariane-Espace, Dassault, Thalès, SEB, EDF/AREVA, MICHELIN, IFP, CEA/DRT, etc...**).

Répartition géographique des scientifiques utilisateurs de Orphée/LLB

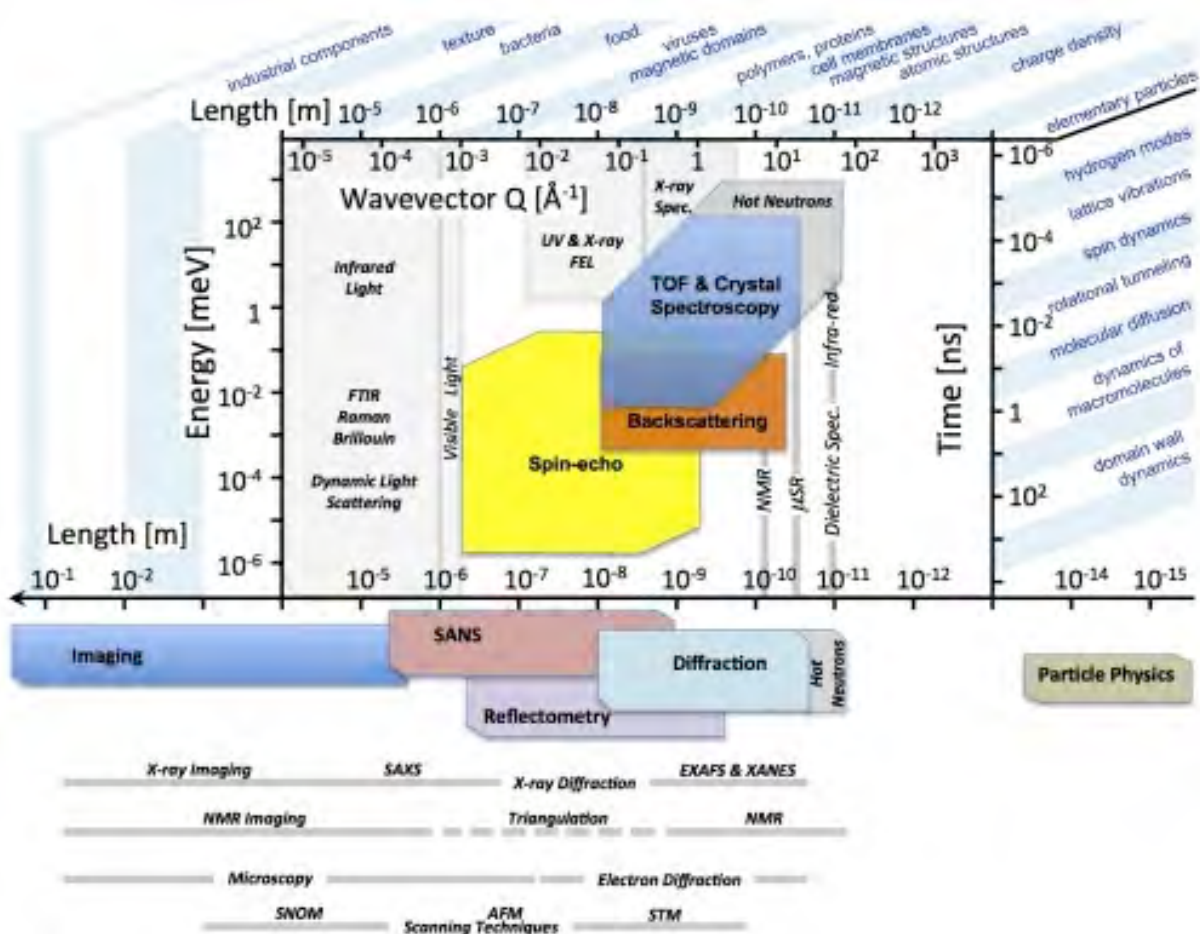


Qu'est-ce que la diffusion des neutrons ?

Le but de la science moderne de la matière est de comprendre les interactions rencontrées aux échelles atomique, moléculaire et supramoléculaire, à l'origine des propriétés physiques et chimiques remarquables, aussi bien en biologie qu'en science des matériaux. Dans une seconde étape, cette connaissance fondamentale est indispensable pour optimiser de nouveaux matériaux, des systèmes biomimétiques ou portant de nouvelles fonctionnalités dans une perspective de développements finalisés.

L'étude des propriétés structurales et des processus dynamiques à l'échelle atomique est requise pour atteindre un tel objectif de connaissance. A ces fins, les scientifiques utilisent plusieurs types de techniques, très souvent faisant appel à la diffusion d'un faisceau de particules. La complémentarité de ces différentes techniques s'illustre à travers la région de l'espace réciproque, à laquelle elles donnent accès. Chaque technique couvre des échelles spatio-temporelles pertinentes pour les sciences de la matière, les neutrons possédant une spécificité dans la région intermédiaire en conjonction avec les rayons X (hautes énergies), la RMN (basses énergies) ou encore la diffusion de la lumière (petits transferts de moment).

Complémentarités des différentes sondes au sein de l'espace réciproque



source : <http://www.europeanspallationsource.se>

Une sonde idéale doit avoir une longue d'onde comparable aux distances interatomiques et une énergie similaire à celles des excitations des atomes dans un matériau. Afin d'étudier les propriétés dynamiques, cette sonde ne doit pas avoir de charge électrique pour éviter une interaction forte avec les électrons ou les noyaux des atomes et ainsi pouvoir pénétrer profondément dans les matériaux. La sonde doit être sensible aussi bien aux atomes légers que lourds, et pouvoir offrir la possibilité de sonder leurs propriétés magnétiques. La section efficace de cette sonde doit être facilement quantifiable pour offrir une comparaison directe avec les modèles théoriques et les simulations numériques. Cette particule existe – c'est le neutron.

Malheureusement, il n'est pas possible de générer des faisceaux de neutrons d'ultra-haute brillance. Les neutrons sont fortement couplés aux protons dans les noyaux des atomes. Les faisceaux de neutrons sont produits dans des réacteurs nucléaires (processus de fission nucléaire) ou par des faisceaux de protons de haute énergie qui viennent frapper une source de métal liquide ou solide (processus de spallation). **La production de faisceaux de neutrons pour l'étude de la matière ne peut se faire que dans des installations de grande taille et coûteuses.**

En Europe, les grandes puissances économiques sont toutes dotées de sources de neutrons nationales, permettant :

- d'assurer la formation des scientifiques (du niveau master aux chercheurs expérimentés) à l'utilisation des neutrons,
- de fournir le socle indispensable à leur communauté nationale d'utilisateurs, via un panel complet d'instruments dédiés,
- de servir d'incubateur pour des projets innovants dans un contexte scientifique international extrêmement compétitif.

A ces sources nationales vient s'ajouter une source européenne, l'ILL (réacteur – source continue). Cette source européenne, en mutualisant les savoir-faire techniques et les coûts de fonctionnements permet d'aller plus loin et plus vite, repoussant ainsi les frontières de notre connaissance. Si la source européenne doit permettre de faire ce qui n'est pas possible (ou déraisonnablement coûteux en temps de faisceau) ailleurs, elle s'appuie sur les sources nationales et n'a pas vocation - ni la capacité - à les remplacer.

Les scientifiques utilisateurs de neutrons savent aujourd'hui combiner de façon pertinente les performances et opportunités offertes par la source européenne et les sources nationales (l'utilisation importante du TNA « Trans-National Access » - programme efficace, mais menacé - en est une parfaite démonstration). Le partage des connaissances se répand au sein de la communauté européenne, les sources nationales réadaptent l'utilisation des instruments, les solutions technologiques mises en œuvre et les techniques d'analyses pour les mettre en adéquation avec les besoins de la communauté scientifique et répondre aux challenges émergents et nouveaux défis sociétaux. Ces évolutions scientifiques et techniques nourrissent la source européenne, aux travers de leurs programmes instrumentaux, lui permettant de conserver et conforter son leadership international. La nouvelle source européenne ESS (spallation – source pulsée) en Suède illustre ce processus de construction.

Les applications de la diffusion neutronique

La diffusion des neutrons est couramment utilisée dans de nombreux domaines de la science. Les neutrons sont utilisés dans l'exploration de réactions chimiques aux interfaces en chimie et en biologie, pour les recherches en agroalimentaire, la synthèse pharmaceutique ou encore les traitements médicaux. Les neutrons peuvent sonder la matière en profondeur, ils permettent de radiographier de façon non destructive des pales de turbines ou des joints de propulseurs pour l'aéronautique, ou permettent de cartographier les contraintes, à l'origine de la fragilisation d'équipements, comme les roues de trains à grande vitesse par exemple. L'étude par diffusion des neutrons des nanoparticules, des systèmes de dimension réduite et du magnétisme est mise à profit pour le développement des futures générations d'ordinateurs, de technologies innovantes, de stockage des données, de capteurs et de matériaux supraconducteurs. La technique de diffusion des neutrons, non destructive, est idéale pour fournir des informations uniques sur notre patrimoine historique et culturel.

- **Comprendre le magnétisme.**

Le neutron est capable d'interagir non seulement avec le noyau des atomes, mais aussi avec le « spin des électrons ». De fait, la diffusion des neutrons joue un rôle central dans la compréhension des propriétés magnétiques, depuis la découverte de l'antiferromagnétisme dans des systèmes simples, jusqu'aux structures magnétiques complexes des nouveaux systèmes à propriétés électroniques remarquables, matériaux fonctionnels et systèmes synthétiques en multi-couches élaborés pour le stockage des données.

- **Etudier les polymères.**

Le neutron est une sonde indispensable pour l'étude de la matière molle. Non seulement, ils permettent d'étudier la structure et la formation des polymères, révélant leur assemblage complexe, mais ils donnent accès à leur dynamique pour améliorer leurs performances et leurs champs d'applications. La nature différente de l'interaction des neutrons avec l'hydrogène et le deutérium permet de réaliser un marquage sélectif de partie chimiquement spécifique de systèmes moléculaires complexes. Cette propriété unique des neutrons est couramment utilisée pour l'étude d'un grand nombre de matériaux en matière « molle ».

- **Révéler le monde invisible.**

La diffusion des neutrons a depuis toujours permis de révéler la structure et la dynamique moléculaire dans les matériaux cristallins et désordonnés. Associée à la puissance numérique de modélisation et simulation, elle permet de déterminer de façon unique l'organisation des matériaux destinés au stockage de l'hydrogène ou encore aux électrodes des batteries, pour les optimiser in-fine. L'empilement et l'orientation des molécules dans les liquides et les glaces peuvent être compris. Lorsque les matériaux se plient, se cassent ou se désagrègent, cela implique le plus souvent des changements de leur arrangement atomique ou moléculaire. Les neutrons sont utilisés dans les sciences de l'ingénieur pour tester la résistance et pertinence de certains matériaux soumis à des conditions extrêmes, en allant des roues de trains aux matériaux pour l'industrie du nucléaire.

- **Débloquer le potentiel de l'hydrogène.**

L'hydrogène est de tous les éléments du tableau périodique, celui possédant la plus grande interaction avec les neutrons. La production d'énergie via une pile à combustible repose sur

la compréhension du mécanisme de conduction protonique dans les membranes, révélé par la diffusion neutronique. Les expériences montrant comment l'hydrogène diffuse dans des métaux aident également au développement de dispositifs de stockage de l'hydrogène - vecteur énergétique efficace et propre pour les transports de demain. Toutefois, ce potentiel est limité par notre incapacité actuelle à le stocker de façon dense dans des réservoirs légers. La diffusion des neutrons joue donc un rôle particulièrement important dans le développement de nouveaux matériaux et de nouvelles solutions technologiques pour le stockage sûr et efficace de l'hydrogène.

- **Neutrons et biologie.**

Une compréhension réelle des processus essentiels à la vie implique de savoir comment les protéines, membranes et autres entités biologiques interagissent dans leur milieu. Les neutrons contribuent à l'élaboration de ce savoir, en identifiant l'organisation de l'eau dans les protéines et autres systèmes biologiques. Cela permet entre autres de savoir comment les médicaments peuvent se propager dans l'organisme et comment leur principe actif peut être véhiculé et délivré dans des zones spécifiques. Les neutrons permettent de mieux comprendre comment des systèmes macromoléculaires véhiculant des médicaments peuvent se mouvoir au travers de membranes, et interagir avec des lipides et des protéines. On peut aussi mentionner l'apport des neutrons dans le domaine de l'alimentaire (traçabilité des vins, étapes de la fusion du chocolat, etc...).

- **Un autre regard sur notre héritage historique et culturel.**

Les faisceaux de neutrons offrent la possibilité de sonder la matière de façon non destructive, fournissant des informations uniques sur la composition d'objets historiques, la nature d'œuvres d'art et de fossiles, sans risque de les détériorer. L'adaptation des techniques de diffraction utilisées en cristallographie ou en ingénierie permet par exemple de déterminer la composition de poteries, leur méthode de fabrication et de retracer les anciennes routes commerciales. L'analyse de composition et de la texture des métaux permet de mieux comprendre les techniques de fabrication utilisées par le passé.

Impacts des recherches menées

La technique de diffusion des neutrons peut être mise en œuvre dans un grand nombre de problèmes sociétaux actuels et conduit à des développements ayant un impact économique à moyen et long terme. Une recherche appliquée dans le domaine des matériaux, utilisant de façon efficace la technique de diffusion des neutrons, se construit aujourd'hui sur la base de recherches fondamentales et techniques et sur la vitalité d'une communauté de scientifiques qui se sont construites, enrichies et renouvelées au cours des trente dernières années. Il est indispensable de poursuivre ce travail de recherche qui porte en gestation les théories et les technologies de demain. Cela ne peut se faire qu'en préservant le potentiel d'innovation de l'ensemble des équipes scientifiques utilisant les neutrons dans des domaines allant de la physique à la biologie. Un accès pérenne à une source de neutrons nationale constitue un élément moteur pour l'utilisation d'une source internationale.

L'étude fondamentale du magnétisme demeure un domaine de prédilection parmi le vaste champ d'applications de la diffusion neutronique, seule capable de cartographier les distributions de champ magnétique statique et dynamique dans l'espace et le temps. De nos jours, l'étude et la compréhension de la nature à l'échelle microscopique et du rôle du

magnétisme pour nombre de systèmes complexes à propriétés électroniques remarquables n'en sont qu'à leur début, mais sont uniques pour le développement de concepts théoriques et les applications technologiques. Citons quelques exemples :

- Les **nouveaux matériaux supraconducteurs**, dont les fluctuations magnétiques pourraient être à l'origine de la supraconductivité. L'étude par diffusion des neutrons fournit des données quantitatives très précises pour l'élaboration de nouveaux modèles théoriques, et offre des pistes aux physico-chimistes pour concevoir de nouveaux matériaux plus performants, opérant à haute température. Ces recherches fondamentales peuvent avoir des applications dans les domaines du stockage et transport de l'énergie, la production de champs magnétiques intenses et dispositifs de lévitation, l'élaboration de nouveaux types de capteurs et dispositifs médicaux (IRM).
- Les **matériaux fonctionnels**, tel que les multi-ferroïques, font l'objet d'une intense activité de recherche, la diffusion de neutrons permet de déterminer les structures magnétiques complexes des nouveaux composés synthétisés dans les instituts de matériaux et de caractériser et modéliser les interactions magnétiques qui à l'échelle microscopique sont responsables de leurs propriétés. Une des applications originales de ces matériaux serait l'utilisation de leurs modes d'excitations électromagnétiques hybride (les électro-magnons) dans des dispositifs de stockage et transfert de l'information.
- Les **matériaux géométriquement frustrée** sont des matériaux dans lesquels des interactions magnétiques antagonistes conduisent à l'obtention de phases magnétiques de type liquide de spins ou glace de spins. Dans de telles phases, on observe des objets magnétiques étranges comme des monopoles magnétiques ou des particules magnétiques fractionnaires comme les spinons. Ces systèmes étant très instables il est possible de les faire changer d'états par l'application d'une très petite perturbation. On peut voir ces systèmes comme des prototypes de systèmes magnétiques accordables.
- Les **systèmes chiraux frustrés** sont des systèmes dans lesquels la texture magnétique prend la forme de spirale ou d'hélice. Lorsque ces matériaux ne sont pas ordonnés magnétiquement, il peut subsister des sortes de tourbillons magnétiques, les skyrmions. Il s'agit d'objets qui peuvent se déplacer sans aucune déformation et ainsi véhiculer une information électrique ou magnétique de façon stable. L'étude de la formation de telles entités et leurs utilisations dans de futurs dispositifs de stockage et de lecture de l'information est au cœur d'une intense activité scientifique.
- Les **systèmes magnétiques moléculaires** sont élaborés afin de porter une information magnétique. Cartographier par diffusion neutronique les propriétés magnétiques à l'échelle moléculaire, conduit à optimiser cette fonctionnalité et à contrôler les propriétés magnétiques de la molécule à haute température. Ces molécules doivent être facilement orientables pour l'écriture et la lecture d'informations.
- La **détermination de structures magnétiques** est un des cœurs de métier de la diffusion neutronique. La diffraction neutronique permet de déterminer de façon routinière les moments magnétiques et leurs arrangements dans les matériaux avec une précision inégalée (l'information magnétique est du même ordre de grandeur que l'information structurale pour les neutrons alors qu'elle est 10.000-100.000 fois plus faible pour les rayons X). C'est donc l'outil irremplaçable pour la compréhension approfondie du magnétisme et explorer les aimants du futur, par exemple les aimants moléculaires. Aucune technique alternative ne permet de telles mesures. La France

dispose d'une longue tradition de l'étude du magnétisme et la perte des techniques de diffraction neutronique conduirait tout simplement à la perte de l'accès à l'outil de caractérisation principal des structures magnétiques. La diffusion de rayons X permet d'avoir des informations sur le magnétisme mais les techniques mises en œuvre ne permettent pas de déterminer quantitativement une structure magnétique dès qu'elle est non triviale. De plus ces techniques sont essentiellement limitées à la surface.

Si la technique de diffusion de neutrons s'est vite imposée comme une technique unique pour l'étude de la physique des systèmes magnétiques, ces performances lui ont rapidement permis de conquérir d'autres domaines comme la science des matériaux, la physique de la matière molle et des liquides, l'ingénierie et de s'ouvrir à la biophysique et l'archéologie. Les exemples phares de cette expansion thématique sont :

- La **métallurgie** bénéficie d'une sonde exclusive pour ses pièces volumineuses grâce à la profondeur de pénétration importante des faisceaux de neutrons. La pénétration des neutrons est très importante dans les matériaux (plusieurs cm dans les aciers). Cette propriété est utilisée pour déterminer le tenseur de contrainte à l'intérieur de pièces métallurgiques. De telles expériences sont évidemment impossibles aux rayons X en raison de la faible profondeur de pénétration, ne permettant pas d'accéder à l'ensemble des composantes du tenseur de déformation. La diffusion neutronique est aussi utilisée pour déterminer en volume la texture des matériaux de manière non destructive. Les techniques alternatives sont destructives (pas d'expérience in-situ) et très locales. Les informations obtenues par diffusion neutronique sont uniques : elles sont statistiquement représentatives, car moyennées sur un grand nombre de grains, point crucial (et spécifique aux neutrons) pour les études couplant expérience et modélisation des propriétés mécaniques. Le contraste entre éléments proches dans la classification (Cr, Fe, Ni...) est également un avantage important des neutrons en métallurgie. Enfin, la diffusion de neutrons aux petits angles est utilisée pour caractériser des matériaux composites (e.g. $\text{Fe}_3\text{C} + \text{NiAl}$) ou les alliages ODS développés pour les nouvelles générations de centrales nucléaires.
- Les études des **matériaux polymères** tirent amplement partie des propriétés uniques que possède la sonde neutronique, à savoir la grande sensibilité à l'hydrogène combinée au marquage isotopique. L'activité autour de ces matériaux utilise pratiquement l'équivalent de 2 à 3 diffractomètres à plein temps (essentiellement diffusion aux petits angles et réflectivité). La possibilité de marquage isotopique permet d'étudier des mélanges de matériaux organiques à des **résolutions nanométriques**. De telles études ne sont pas possibles avec d'autres techniques (lumière – RX) en raison de l'accès limité et non systématique (exemple de la diffusion anormale) à la variation de contraste entre différents matériaux polymères. On rappellera que cette technique de marquage n'est pas exotique et est à la portée de n'importe quel laboratoire en raison de la disponibilité sur catalogue de matériaux organiques deutérés (en raison de leur utilisation en RMN).
- La diffraction des neutrons offre une information unique pour la **crystallographie**. La diffusion des neutrons par la matière est très différente de celle des rayons X. L'interaction se fait avec les noyaux atomiques (principalement, interaction « nucléaire ») et avec les éventuels électrons non appariés des cortèges électroniques (interaction magnétique). Du point de vue de l'étude des structures cristallines (« structures nucléaires »), les neutrons permettent de localiser les **atomes légers H, Li ou moyennement légers**, même lorsqu'ils sont en présence d'atomes lourds (Ln,

Ac, ...). Ils permettent de **différencier les métaux de transition** au sein d'une même série, qui sont similaires chimiquement et se substituent facilement les uns les autres, ce que les rayons X ne peuvent faire car leurs numéros atomiques sont voisins. Dans certains composés, il est possible de jouer sur le contraste isotopique en marquant différemment différentes parties du composés (par de l'hydrogène ^1H ou du deutérium $^2\text{H}=\text{D}$) ce qui permet de suivre des réactions chimiques. Grâce au fort pouvoir de diffusion incohérente de ^1H , il est possible de **doser précisément (qq 100 ppm) l'hydrogène** dans les composés (zéolithes, aciers) et suivre sa désorption thermique, par exemple. Enfin, la diffraction neutronique est peu/pas sujette aux problèmes d'absorption ou d'extinction qui biaisent souvent les diffractogrammes mesurés avec les rayons X. Il est possible de mesurer des échantillons massifs de plusieurs mm/cm d'épaisseur. Le 2^{ème} grand atout des neutrons est leur sensibilité au magnétisme, comme décrit précédemment.

Un point fort et unique de la diffusion neutronique réside dans ses techniques d'imagerie. La **radiographie et la tomographie neutronique** permettent de visualiser des éléments légers à l'intérieur de pièces massives. Orphée fournit des neutrons à 2 stations d'imagerie :

- Une **station « industrielle »** est principalement dédiée au contrôle de pièces explosives (~4000 pièces par an). Ces prestations sont réalisées pour le compte d'industriels tels que **Ariane-Espace** ou **Dassault**. Elles permettent de qualifier différents éléments sensibles tels que des cordons explosifs. Actuellement aucune alternative technique n'a été trouvée pour la qualification de telles pièces. L'installation sur Orphée présente 2 qualités principales : la confidentialité et la possibilité de manutention de matériaux explosifs. Dans l'état actuel il ne semble pas possible de transférer cette activité dans un autre centre neutronique (*hormis à un coût prohibitif, probablement >10M€ en raison de la nature explosive des matériaux.*) **On pourra souligner que cette activité représente un chiffre d'affaire supérieur à 700k€ et emploie 3 personnes d'une entreprise sous-traitante.**
- La **deuxième station d'imagerie** est dédiée aux études plus fondamentales et permet de réaliser des mesures avec des environnements échantillons complexes. Elle est entre autre utilisée par l'**IFP Energies Nouvelles** dans le domaine de l'extraction du pétrole et par le **CEA/DRT** pour l'étude des piles à combustibles. D'autres études dans le domaine de l'agroalimentaire sont aussi en cours (e.g. thèse Univ. Bourgogne avec partenaire **SEB**). Des prestations ponctuelles sont aussi réalisées pour des industriels (composants sensibles, **Thalès/CESTA**, **pièces automobiles** type vannes EGR, gaines de combustibles **EDF/AREVA**).

Ces différents exemples permettent d'illustrer comment des recherches à caractère très fondamental peuvent être porteuses de l'émergence de nouveaux concepts théoriques et constituent le point de départ de nouvelles solutions technologiques. Cette liste est loin d'être exhaustive (cf. « Compléments »). La diffusion des neutrons fournit également de façon indiscutable des données essentielles pour l'industrie de la chimie et le design de nouveaux matériaux. Ces données permettent d'élaborer des matériaux plus efficaces, plus résistants et d'optimiser leur fonctionnalité. Les recherches dans les domaines de la biophysique ne sont qu'à leur début, mais comme tous champs d'applications nouveaux, elles prendront leur essor dans les années à venir, avec des applications pratiques pour la médecine et la pharmacopée.

Les développements instrumentaux

Outre le caractère indispensable d'une source de neutrons, la diffusion des neutrons est accessible à l'ensemble de la communauté scientifique grâce au développement et à la construction d'instruments réalisés par les professionnels des centres, en synergie avec les demandes émanant des utilisateurs. Il faut noter que **chaque instrument est unique** et que **les instruments sont continuellement « upgradés »**.

Instrumentation au LLB. La communauté scientifique dispose de 22 instruments couvrant des grandes échelles de temps et d'espace simultanément. Les performances et la pertinence de chaque instrument sont régulièrement évaluées par un comité scientifique et technique, afin d'assurer une parfaite adéquation entre l'instrument et l'évolution des enjeux scientifiques et technologiques. Au LLB, 15 instruments ont ainsi subi une cure de jouvence ou ont été profondément repensés au cours de la dernière décennie. Le développement instrumental dépasse le concept du « parc d'instruments » répondant au besoin d'une communauté scientifique ; il assure également la transmission d'un savoir-faire technique entre les générations de personnels (chercheurs, ingénieurs, techniciens) et permet d'intégrer de nouvelles solutions techniques basées sur les toutes dernières évolutions technologiques (guides de neutrons de nouvelle génération, nouveau système de détection des neutrons – « Position Sensitive Detector », par exemple). Le développement instrumental stimule les échanges techniques et technologiques entre les différents centres de neutrons et s'appuie sur les compétences - parfois uniques - de PME. S'ils garantissent aujourd'hui de disposer d'une instrumentation performante et cohérente en constante évolution, ces développements techniques seront demain une des clés de voute des futurs projets en neutronique. A ce titre, le LLB contribue activement à plusieurs projets d'instrument pour la future source à spallation européen ESS (Lund, Suède).

Implication du LLB dans les futurs instruments sur ESS. Les équipes du LLB se sont déjà investies dans les propositions d'instruments (constitution des dossiers scientifiques et étude des premiers concepts d'instrumentation). Les principaux projets où elles sont impliquées sont les suivants. Trois projets ont été soumis en octobre 2013, retenus par le Conseil scientifique, et validés par le Conseil d'administration de l'ESS en octobre 2014 :

- C-Spec, spectromètre à temps de vol (50% français, partenaire : TUM Munich) ;
- SKADI, diffractomètre aux petits angles (50% français, partenaire : JCNS Jülich) ;
- DREAM, diffractomètre de poudre (25-30% français, partenaire : JCNS, Jülich).

En mai 2015, un nouveau projet, MAGIC, diffractomètre pour l'étude des propriétés magnétiques des monocristaux a été retenu, la contribution française y serait de 80%. Enfin, le LLB participera avec un chercheur de l'IBS à un projet de l'ESS de diffractomètre macromoléculaire NMX, à hauteur de 5-10%.

Se tournant vers le futur, le LLB mène également une étude prospective sur le développement et l'utilisation de sources de neutrons à haute brillance. Une source nationale, comme Orphée-LLB en France, est un maillon essentiel d'un dispositif complexe mettant en jeu différents acteurs interdépendants. Ainsi, une source nationale, telle qu'Orphée-LLB, assure le maintien, le renouvellement et la transmission d'un savoir-faire scientifique et technique et prend part au tissu économique national. La disparition d'un tel vivier de compétences conduirait à une inévitable dispersion de ce savoir-faire, voire à une irrémédiable disparition à moyen termes, ruinant des décennies d'investissements et bradant tout avenir.

Conclusions

Actuellement, la source nationale de neutrons Orphée-LLB couvre 60 % de la demande française en diffusion des neutrons. En répertoriant la provenance des utilisateurs, on fait clairement apparaître un très fort couplage avec les instituts de matériaux français. Toutefois, l'impact d'Orphée-LLB ne se résume pas seulement à son nombre d'utilisateurs, il se mesure également par les retombées des études scientifiques sur l'ensemble de la communauté scientifique nationale et internationale. En effet, les travaux menés à LLB-Orphée sont un élément structurant d'un dispositif scientifique complexe, basé sur une synergie entre les physico-chimistes qui élaborent les matériaux, des théoriciens qui développent de nouveaux modèles analytiques et numériques et un ensemble unique de données expérimentales allant des mesures de transport et de thermodynamique, aux mesures de spectroscopie. Ces travaux sont reconnus internationalement et les chercheurs qui les portent, jouent un rôle structurant au niveau national (GDR et écoles thématiques) : ils permettent à d'autres chercheurs de prendre connaissance des informations fournies par les neutrons, sans être eux-mêmes directement impliqués dans la technique.

Fermer la source nationale de neutrons revient à déstructurer tout le tissu scientifique faisant appel à la diffusion des neutrons, directement ou indirectement. Les recherches dans le domaine du magnétisme, de la matière molle ou des matériaux, demandent beaucoup de temps, de patience et un haut niveau d'expertise. Sans source nationale, les chercheurs français ne pourront plus rivaliser avec leurs concurrents allemands, anglais ou suisses, (pays disposant de source nationale en plus de la source européenne). Cela entraînera inévitablement un recul de la présence des équipes françaises en termes de publications, de visibilité dans les manifestations internationales et d'animation de l'activité scientifique à l'échelle nationale. Il en découlera une réduction de la compétitivité de ces équipes dans les appels à financements et un manque d'attractivité pour les jeunes chercheurs à la recherche d'un doctorat ou d'une position postdoctorale. Nous estimons qu'en moins de cinq ans (typiquement la durée de « formation » par doctorat et post-doctorat), avec seulement l'ILL pour satisfaire les besoins français en neutronique (rappelons que l'ILL représente 20 à 30% des capacités en 2015, alors qu'actuellement, la demande totale est déjà deux fois plus importante à l'offre disponible), la communauté des chercheurs dans les domaines précités aura perdu la majorité de ces effectifs, ainsi qu'une grande partie de sa capacité d'innovation et d'attractivité, se sera repliée sur quelques sujets de niche dans lesquels elle n'aura plus qu'un rôle secondaire dans la compétition internationale. Quelques équipes pourront survivre travaillant en sous-main pour des équipes étrangères, en leur servant de laisser-passer pour les installations européennes. Ces équipes auront perdu toute indépendance scientifique.

Une nouvelle fois, nous tirons ici le signal d'alarme, l'absence d'une source nationale de neutrons se traduira pour la France par la perte de l'excellence dans le domaine du magnétisme (par exemple), voire d'un certain leadership et ceci au profit de voisins européens (Allemagne, Angleterre, Suisse en tête). Tous les sujets phares, mentionnés précédemment, seront indistinctement impactés. Une Communauté de chercheurs et un savoir-faire scientifique et technique construit en quatre décennies seront balayés. Les opportunités de découvertes scientifiques dans le domaine du magnétisme échapperont aux équipes françaises, qui par ailleurs n'auront plus aucune audience, faute d'être capables de se « battre à armes égales » avec la concurrence. Une source nationale de neutrons est le seul moyen de maintenir une position dominante de la France en Europe et de rentabiliser ces investissements dans une source européenne (ILL ou ESS).

Compléments

Liste non exhaustive de domaines de recherches fortement impactés par la réduction de temps de faisceau résultant de la disparition de la source nationale de neutron Orphée-LLB

Structure : *relation structure-propriétés (une structure est un édifice cristallin particulier qui confère au système certaines propriétés ou fonctionnalités)*

- Nouveaux matériaux en couches minces, nano-matériaux, matériaux fonctionnels
- Ordres magnétiques dans les matériaux multi-fonctionnels (couplage avec d'autres propriétés structurales ou électriques), dans des topologies complexes (frustration géométrique, dimensions réduites, confinement)
- Structure cristallines, positions des atomes légers, difficilement visible en rayons X, applications aux batteries (Li), conducteurs ioniques, matériaux pour le stockage de l'hydrogène, applications environnementales (stockage du CO₂).
- Structures cristallines et magnétiques sous conditions extrêmes et croissance in-situ.
- Texture magnétique (en électronique et études de nouveaux états de la matière : liquide ou glace magnétique, états électronique ou magnétique de type cristaux liquides, ordre ferro-torïdal, phase multi-polaires).
- Dosage de l'hydrogène dans les matériaux de stockage.
- Identification de phases dans des matériaux massifs (archéologie, métallurgie, médecine – calculs rénaux).

Excitations: *observation directe des modes d'excitations collectifs des atomes (phonons) et des moments magnétiques (magnons, excitons magnétiques), et des excitations hybrides magneto-élastiques ou magneto-électriques.*

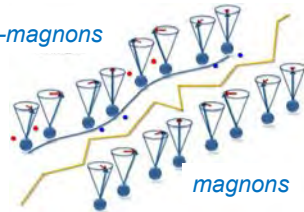
- Anharmonicité et couplage des phonons dans les matériaux thermoélectriques
- Electro-magnons dans les multi-ferroïques
- Couplage électron-phonon et couplage électron-magnon dans les supraconducteurs
- Phason et amplitudon dans les composés à ordre de charge, quasi-cristaux et systèmes magnétiques complexes.
- Excitations magnétiques fractionnaires pour le magnétisme quantique
- Objets topologiques et physique non linéaire: polarons, solitons, skyrmions, breathers

Relaxations: *observation directe des phénomènes dynamiques de basse énergie.*

- Diffusion moléculaire en milieu confiné (argiles, ciments, MCM41, MOFs, etc...)
- Mécanisme de transport dans les conducteurs ioniques (oxygène, proton, etc...)
- Insertion de gaz (hydrogène, méthane, etc...) dans les matériaux de stockage
- Dynamique de l'eau dans les systèmes d'intérêt en biologie
- Propriétés de dynamique des polymères
- Physico-chimie de la matière

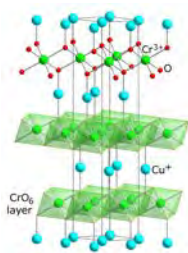
Matériaux fonctionnels & magnons

Electro-magnons

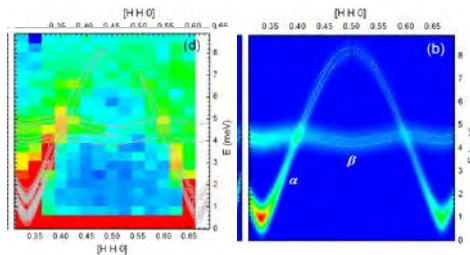
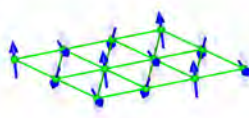


- La diffusion inélastique des neutrons permet de caractériser les fluctuations magnétiques (magnons)
- Rôle central des magnons pour déterminer les interactions microscopiques qui pilotent les propriétés magnétiques des matériaux

- Ex: composé multi-ferroïque CuCrO_2 – topologie du réseau cristallin et propriétés magnéto-électriques (statiques et dynamiques)



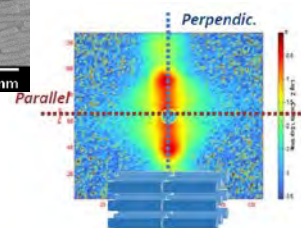
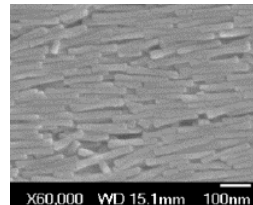
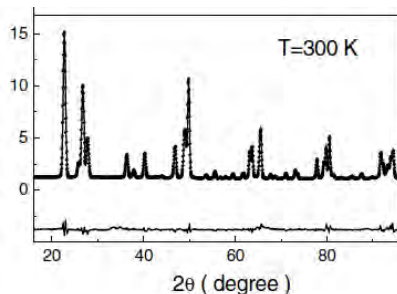
Structures nucléaire & magnétique



- Mesure des magnons et modélisation

Aimants permanents

- La diffraction magnétique est la seule technique permettant de déterminer la structure de nouveaux matériaux
- E.g. Détermination de la structure magnétique de MnBi comme matériau magnétique pour aimants permanents sans terres rares.
- La diffusion de neutrons aux petits angles permet de déterminer la structure et les mécanismes de renversement dans des nano-objets magnétiques
- e.g. Aimants composites à base de nanofils magnétiques de Co ($H_c \sim 0.75\text{T}$). $BH_{max} \sim 160\text{kJ/m}^3$ (\sim équivalent SmCo_5)



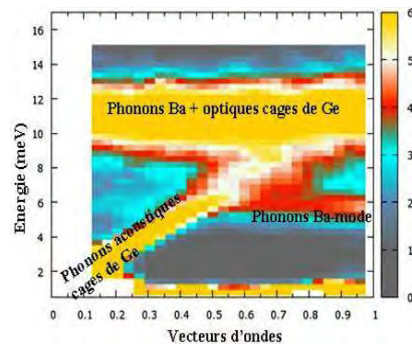
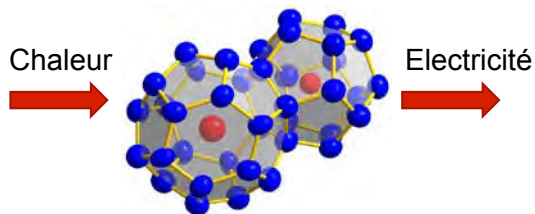
Propriétés thermiques, transport de la chaleur : les phonons

1 Les propriétés thermiques des matériaux diélectriques sont déterminées par les déplacements collectifs des atomes : les phonons

2 La résolution des équations de la chaleur nécessite de caractériser les phonons. Le neutron est l'unique sonde permettant de déterminer leurs temps de vie et leurs libres parcours moyen.

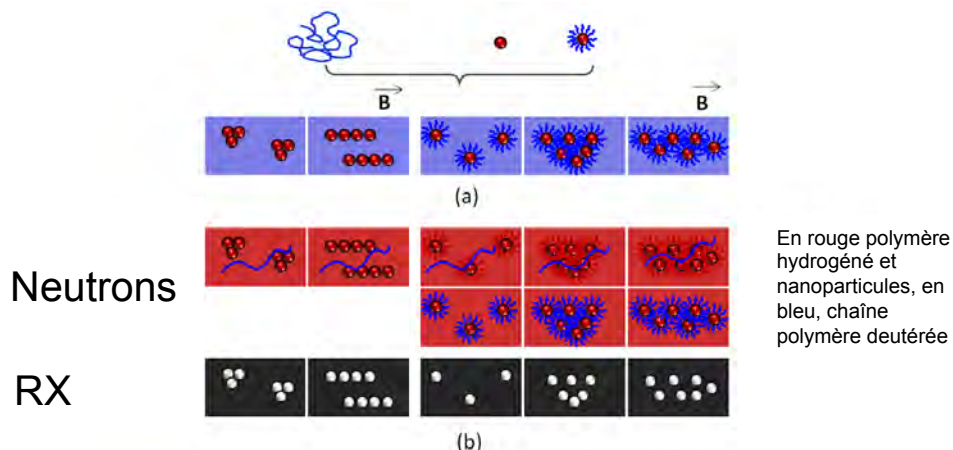
⇒ Le neutron est indispensable à la science thermique (chaleur & énergie)

Exemple de la thermo-electricité : recherche de mécanismes diminuant fortement la conduction de la chaleur dans des semiconducteurs

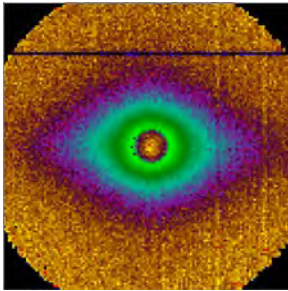


Renforcement de polymères par des nanoparticules

- Grace à la possibilité du marquage isotopique, il est possible d'observer la conformation de chaînes polymères dans des composites polymères. Aux rayons X, aucune information sur les polymères ne peut être obtenue. (application thèse CIFRE-MICHELIN sur le renforcement des pneumatiques)



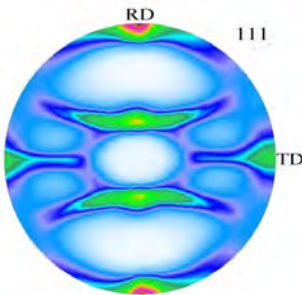
Métallurgie



Matériaux composites

- Contrôle de la précipitation du nanorenforcement et des propriétés mécaniques

- ✓ Aciers renforcés par Fe₃C + NiAl
- ✓ Alliages FeCr ODS pour les applications nucléaires (CEA/DEN)



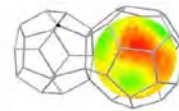
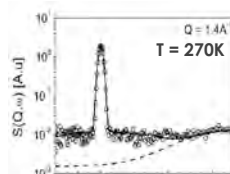
Propriétés mécaniques en volume

- ✓ Textures cristallographiques et distribution des contraintes
- ✓ Influence de la microstructure et des hétérogénéités de contraintes

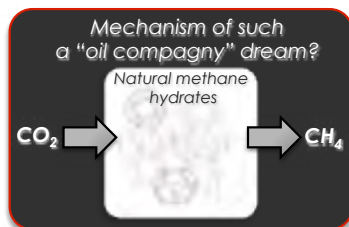
Dynamique moléculaire et diffusion quasi-élastique des neutrons

- La diffusion quasi-élastique (QENS) des neutrons donne un accès sélectif à la dynamique incohérente (e.g. diffusion Brownienne) ou cohérente (e.g. mouvements concertés ou collectifs) des molécules selon leur nature isotopique: *un accès unique aux mouvements atomiques (hydrogène, oxygène, etc...)*.

Exemple: sonder la diffusion moléculaire et les sites d'adsorption des molécules dans les clathrate hydrates (impact environnemental, technologique et énergétique important)



- Simulations numériques de dynamique moléculaire
- Diffusion quasi-élastique incohérente des neutrons

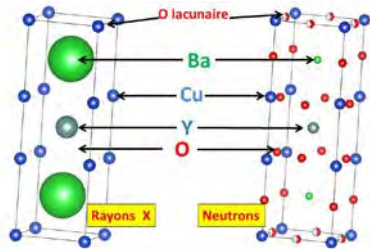


- Informations uniques sur la diffusion (H₂, hydrocarbures, eau...) dans les matériaux poreux (MOFs, Zéolithes, argiles, clathrates...), dans les conducteurs ioniques (proton, oxygène, lithium...), dans la matière molle (liquides complexes, gels) ou encore dans les systèmes d'intérêt biologique (protéine, membrane, couche d'hydratation, etc...).

Cristallographie et neutrons

Contraste atomique:

- Atomes légers (H, Li, O)
- Métaux en substitution



Supraconducteurs, Piézoélectriques, Multiferroïques, Combustibles nucléaires, Batteries, Stockage H₂

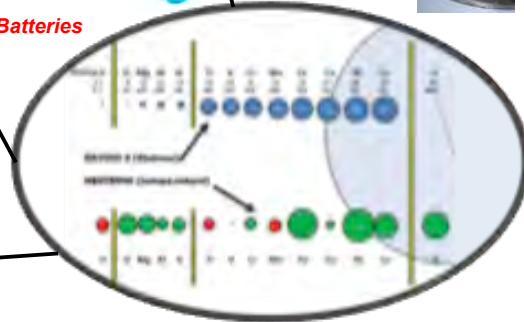
Déplacements atomiques

- Chemins de diffusion (SOFC)



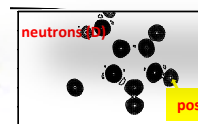
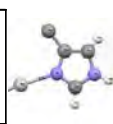
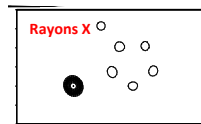
Echantillons massifs

Archéologie, Matériaux Réactions In situ réalistes



Voir l'hydrogène

- Contraste H/métal
 - Marquage H/D
 - Dosage de H (incohérent)
- Zéolithes, MOF, Stockage H₂**

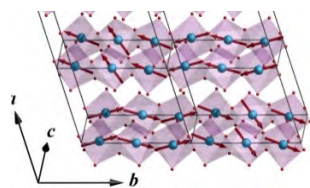
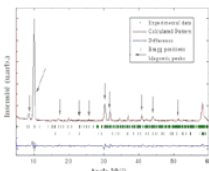


Cristallographie et neutrons

Structures magnétiques

- Atomes magnétiques :
- Magnitude,
 - Orientation des moments atomiques

Multiferroïques, ...



Sonder le magnétisme:

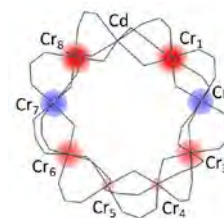


Densité de spin

Molécules magnétiques

- Magnitude,
- Orientation des moments atomiques délocalisés sur les atomes d'une molécule

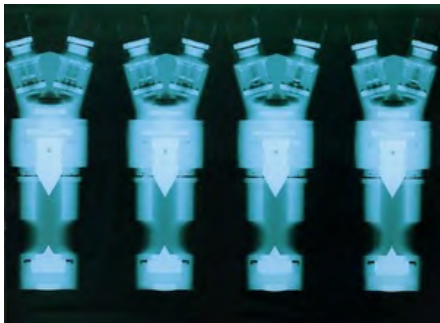
Magnétisme moléculaire



Densité **positive** ou **négative**

Contrôle non destructif Radiographie neutronique

- Sur Orphée, une station « industrielle » est principalement dédiée au contrôle de pièces explosives (~4000 pièces par an). Ces prestations sont réalisées pour le compte d'industriels tels que Arianespace ou Dassault. Elles permettent de qualifier différents éléments sensibles tels que des cordons explosifs.
- Cette activité représente un chiffre d'affaire supérieur à k€700 et emploie 3 personnes d'une entreprise sous-traitante.

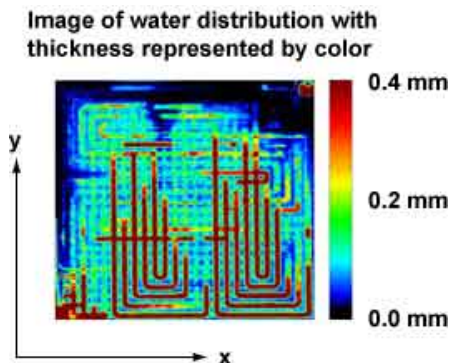


Série de cisailles pyrotechniques à usage spatial vue grâce aux neutrons du réacteur Orphée de Dassault-Aviation.

Radiographie – Tomographie

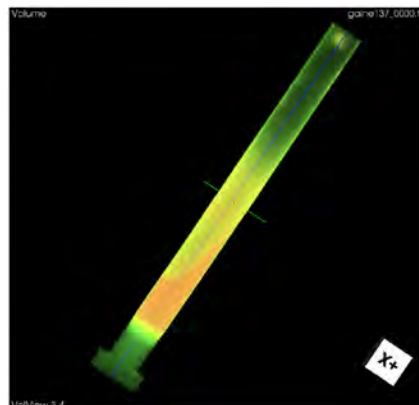
La radiographie et la tomographie neutronique permettent de visualiser des éléments légers (H, H₂O)

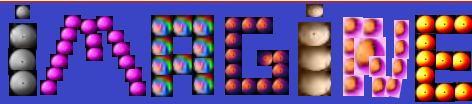
Suivi de la formation d'eau liquide dans une pile à combustible



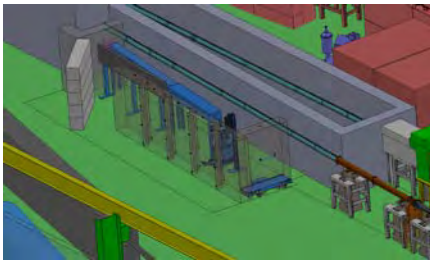
Courtesy of NIST

Mesure de la quantité d'hydrogène dans une gaine de combustible ayant subi un incident de criticité (précision du dosage 50ppm at%)
CEA/DEN – AREVA - EDF





Imaging Station with cold neutrons at the Laboratoire Léon Brillouin CEA/CNRS

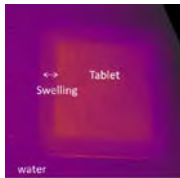


The IMAGINE spectrometer is open to users since Spring 2014

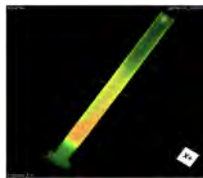
The topics cover

- Agrofood
- Geology
- Metallurgy
- Fuel cells

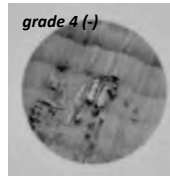
Dissolution of milk tablet powders



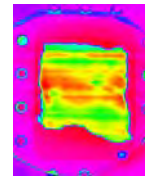
Hydrogen uptake in Zircalloy fuel elements



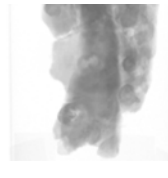
Porosity in cork stoppers



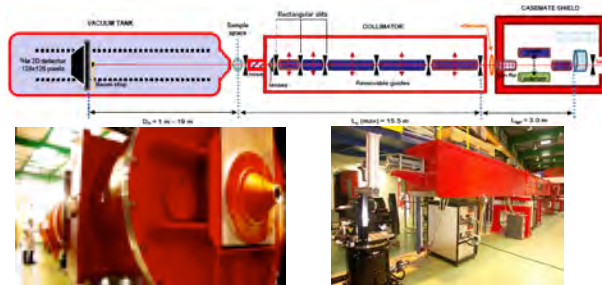
Meat cooking



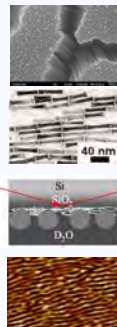
Archeological artifacts (Roman sole)



PA20 : un nanoscope pour la matière condensée



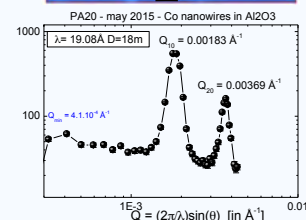
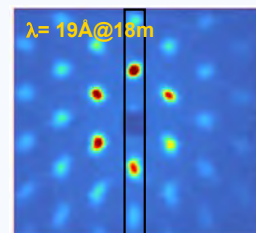
- Morphologie/organisation d'objets **nanométrique**
- **Nanostructures magnétiques** (fils, plots, films, réseaux)
- Matériaux **ferrolatex, ferrofluides, photomagnétiques**
- Systèmes complexes (**colloïdes, micelles**)
- Matériaux à séparation de phase (**magnétoélectriques, verres de spin**)
- Transitions de phases (**hélices magnétiques, skyrmions, réseaux de vortex dans les supras**)



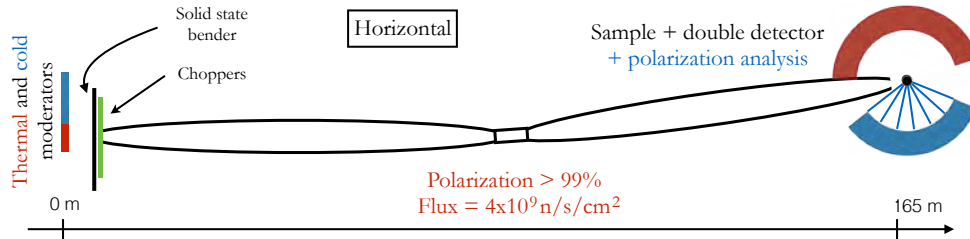
Premiers résultats (2015)



Nanofils de Cobalt dans membrane (Al₂O₃) : dcc=390nm, Ø=150nm



MAGiC: la diffraction magnétique à l'ESS



Cadre scientifique

Nouveaux états magnétiques (skyrmions, couplage spin-orbite, ...)



Supraconductivité (boucle de courant, fermions lourds, iridates, ...)



Magnétisme quantique (liquide de spin, transition de Higgs, monopoles, ...)



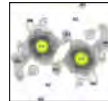
Matériaux multifonctionnels (multiferroïques, couches minces, hétérostructures)



Performances attendues

L'instrument complet à été modélisé permettant la réalisation d'expériences virtuelles. La comparaison avec les meilleurs instruments montre des gains de 2 à 3 ordres de grandeur permettant:

Une réduction des volumes échantillons
L'étude de systèmes quantiques (S=1/2)



Couches minces, hétéro-structures et microcristaux seront accessibles dans des temps raisonnables.



MAGiC servira de nouvelles communautés.

LETTRE OUVERTE DE LA SFN - 2015



<http://www.sfn.asso.fr>

Bordeaux, le 23 juin 2015

Vers une stratégie scientifique du paysage neutronique français

La Société Française de la Neutronique – forte de ses 400 adhérents et de ses 700 « connectés » à la SFN – représente une émanation de la communauté scientifique des utilisateurs et professionnels des sources de neutrons. Selon une étude réalisée en 2011 par l'ENSA - l'Association Européenne de diffusion neutronique, notre communauté constitue près de 30% (1750 utilisateurs fréquents³) des utilisateurs européens⁴. Les neutroniciens français représentent ainsi **une des communautés les plus importantes et une des plus dynamiques sur la scène européenne**, et contribuent pleinement au rayonnement international de la recherche française.

Le champ scientifique balayé par les neutroniciens français (physiciens, chimistes, ingénieurs, etc...) s'étend du magnétisme à la matière molle en passant par les sciences et ingénieries des matériaux ou la biologie⁵. Les informations apportées par la diffusion neutronique répondent aux grands enjeux sociétaux tels que la recherche fondamentale, les matériaux, l'énergie ou encore l'agroalimentaire, l'environnement et la santé. Les compétences de la communauté sont également exceptionnelles du fait du large panel d'outils utilisés (diffraction, réflectivité, diffusion aux petits angles, spectroscopie neutronique et imagerie). Cette **expertise, tant scientifique que technique**, s'est bâtie sur les connaissances acquises au cours des dernières décennies, grâce à la construction et l'utilisation large des deux sources présentes sur le sol national (représentant actuellement environ 6000 jours.instruments). La communauté a eu l'opportunité de passer de la « découverte neutronique » (construction de l'ILL) aux dernières « innovations neutroniques » (construction d'ESS en Suède démarrée en 2014, programmes instrumentaux récents de l'ILL et du LLB) grâce à une stratégie nationale forte, s'appuyant sur le Laboratoire Léon Brillouin, associé au réacteur Orphée. Cette installation nationale dédiée a ainsi très largement contribué – contribue et contribuera – à l'excellence française dans ce domaine⁶ au niveau de la formation, de la recherche et de l'industrie.

Les contraintes budgétaires de ces dernières années ont conduit, en mai dernier, le CNRS et le CEA à annoncer officiellement **l'arrêt du réacteur Orphée pour fin 2019**. Ce communiqué anticipe les recommandations du Haut Conseil des TGIR dont le rapport de 2013 souligne la « position

³ Scientifiques ayant publié, entre 2001 et 2011, au moins 5 articles faisant appel à la diffusion neutronique.

⁴ L'Allemagne et le Royaume-Uni (nations équipées de sources nationales) représentent des communautés équivalentes en taille.

⁵ Voir la revue éditée par la SFN: «Neutrons, Sciences and Perspectives», EPJ ST, vol. 213, 2012.

⁶ Selon le rapport AERES 2014 du LLB, 60% de la production scientifique française faisant appel à la diffusion neutronique associe le LLB (30% ILL et 10% autres centres).



<http://www.sfn.asso.fr>

internationale forte » de la communauté française tout en préconisant la fermeture d'Orphée fin 2020, le maintien de l'ILL jusqu'en 2030 et une « implication raisonnable » dans ESS (sans réelles justifications scientifiques pour ces trois derniers points). Le **résultat d'une telle politique scientifique** est relativement simple. En 2020, l'accès à l'outil neutronique pour la communauté française serait réduit de plus de moitié et cette évolution induirait très probablement une compétition insoutenable au niveau des temps de faisceau des autres sources, dont l'ILL. De plus, la France ferait le choix de devenir la seule nation forte du paysage européen de la neutronique à ne pas avoir de source nationale⁷. A l'horizon 2030, l'accès serait réduit par un facteur d'environ 20 en supposant un fonctionnement à pleine puissance de l'ESS (quelques centaines de jours.instruments⁸). L'ESS représente un projet phare répondant aux exigences d'excellence et d'innovation de la recherche en neutronique, mais ne peut en aucun cas fournir toute la capacité nécessaire à l'activité scientifique de très haute qualité de la communauté française. Irrémédiablement, la communauté diminuerait de manière drastique en quelques années; outre la diminution (voire la perte) de pans de recherche, cette évolution aurait évidemment un impact conséquent sur la formation de la communauté, sur l'activité de l'ensemble de la communauté européenne et plus spécifiquement sur les investissements français au sein de la nouvelle source en construction⁹. Ainsi, ces décisions et recommandations mettraient la **communauté française dans une situation extrêmement critique - voire en péril - eu égard à son implication dans l'outil neutronique, à son activité et à sa position internationale.**

Il apparaît donc indispensable de compléter la feuille de route actuelle par une **stratégie nationale de la neutronique, scientifiquement ambitieuse** et contribuant à améliorer le niveau de rang international de la recherche française dans le domaine. La SFN se propose de participer à l'élaboration d'une telle feuille de route pour la communauté française - les utilisateurs représentant le coeur d'activité - et la source nationale - le socle indispensable (accessible uniquement via une TGIR). Dans cette perspective, plusieurs points clefs et interdépendants sont à prendre en compte:

- L'installation nationale doit avoir la possibilité (instrumentation et environnement scientifique/technique) de maintenir l'activité de la communauté dans des conditions en adéquation avec son haut niveau actuel (recherche, formation et industrie), de répondre aux engagements scientifiques dans la nouvelle source européenne (construction et utilisation) et de préparer – à tous les niveaux – la mise en place d'une nouvelle source nationale destinée à succéder à Orphée.
- Ces objectifs ne pourront être remplis dans les 4 prochaines années¹⁰, tout en réduisant la capacité (jours.instruments) pour la communauté : le **réacteur Orphée doit être maintenu** jusque 2025¹¹ en sus de la nécessité du maintien de l'ILL au plus haut niveau. La construction d'une alternative doit s'appuyer sur l'utilisation optimale de la source nationale actuelle

⁷ L'Allemagne et le Royaume-Uni conserveraient leurs sources nationales, FRMII et ISIS respectivement.

⁸ de l'ordre de 320 jours.instruments en supposant une participation française à hauteur de 10% dans le fonctionnement d'ESS, 16 instruments construits et 200 jours de faisceau par an.

⁹ 8% de la construction (soit environ 140 M€), incluant accélérateur ET instrumentations.

¹⁰ En supposant un arrêt en 2019.

¹¹ Le programme « utilisateur » d'ESS ne démarrera pas avant 2023.

(approvisionnement en combustible, jours de fonctionnement, puissance du réacteur, etc...), une stratégie nationale des CRGs¹² sur les sources existantes et l'élaboration éventuelle d'un prototype ou démonstrateur basé sur un accélérateur (« petite source »). La mise en place d'un tel modèle nécessite une distribution optimisée de l'instrumentation sur les différentes sources¹³, ainsi qu'un portail unique et efficace pour l'accès des utilisateurs aux instruments nationaux de diffusion neutronique. Enfin, le développement d'une petite source, ainsi que l'expérience acquise à travers la participation française à la construction des instruments d'ESS constitueront une base solide en vue d'une source de « nouvelle génération ».

- A l'horizon 2025-2030, il est vital d'avoir élaboré et construit un **projet ambitieux de nouvelle source nationale**. Cette échéance implique un travail préparatoire conséquent, auquel l'ensemble de la communauté devra participer afin de répondre à ses besoins et spécificités scientifiques¹⁴. Il faudra être en mesure de proposer des innovations autant instrumentales qu'en terme d'utilisations des faisceaux de neutrons, s'inscrivant dans une logique de réseau européen de sources neutroniques¹⁵. Etant donné son expertise, la communauté française ne peut être qu'au tout premier plan d'une évolution raisonnée des sources neutroniques basées sur le réacteur scientifique à la spallation ou à toute autre technologie émergente.

Dans ces perspectives, la période actuelle, bien que critique, offre également une opportunité exceptionnelle pour relever les futurs défis scientifiques, que ceux-ci soient fondamentaux ou finalisés, en proposant un projet construit en synergie avec les utilisateurs français de la diffusion neutronique.



Dr. Arnaud DESMEDI

Président de la Société Française de la Neutronique

Au nom de son Conseil d'Administration

¹² « Collaborative Research Group »

¹³ Exemple général : spectroscopie et diffraction sur les réacteurs, imagerie et structure macromoléculaire sur la petite source.

¹⁴ La SFN se propose de participer à l'élaboration d'un « cas scientifique » livrable en 2016.

¹⁵ En adéquation avec la feuille de route ESFRI.

Lettre du comité AERES du LLB/Orphée - 2014

NB : rapport AERES téléchargeable sur

<http://www.aeres-evaluation.fr/content/download/23601/362403/file/E2015-EV-0912281K-S2PUR150009187-006219-RD.pdf&ei=pdCwVYWRJofYU66urNAP&usg=AFQjCNHB-7eoYx2OMz0MtuOKvdT6AjWyXg&bvm=bv.98476267,d.d24>



Technische Universität München



Forschungs-Neutronenquelle
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

Prof. Dr.
Winfried Petry
Scientific Director
Lichtenbergstraße 1
85748 Garching
Germany

Tel +49.89.289.14704
Fax +49.89.289.14995

winfried.petry@frm2.tum.de
www.frm2.tum.de

Prof. Dr. Winfried Petry · ZWE FRM II · TU München
85747 Garching · Germany

Seite 1 von 4

<p>Monsieur Daniel Verwaerde Administrateur Général of CEA Le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies alternatives Centre de Saclay</p> <p>91191 Gif-sur-Yvette Cedex France</p>	<p>Monsieur Alain Fuchs President of CNRS Le Centre National de la Recherche Scientifique CNRS - Cabinet du Président 3, rue Michel-Ange</p> <p>75794 Paris Cedex 16 France</p>
<p>Monsieur Gabriele Fioni Directeur des Sciences de la Matière CEA, Centre Saclay</p> <p>91191 Gif sur Yvette Cedex France</p>	<p>Monsieur Alain Schuhl INP- CNRS 3, rue Michel-Ange 75794 Paris Cedex 16 France</p>

Garching, in May 2015

Dear Sirs, dear Colleagues,

From 30th to 31st January 2014 an expert committee visited the Laboratoire Léon Brillouin (LLB) in the context of a regular AERES evaluation. The outcome of this evaluation has been reported to the shareholders of the LLB, namely to the Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) and to the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). This report was published online.¹

With respect to the mid and long term perspective of the LLB and its backbone, namely the neutron source ORPHÉE, the committee stated:

- *ORPHÉE is a modern and excellently maintained nuclear facility with no obvious limitation in the foreseeable future.*
- *... the LLB focuses on the three topics "Magnetism and Superconductivity", "Materials and Nanosciences", and "Soft Complex Matter". ... The Magnetism Group is world leading in its field, the Materials Group is very excellent, the Soft matter group is a very visible player, each time in comparison to the competitors at other national neutron sources. ... A very visible proof of the scientific excellence of the LLB are its 175 peer reviewed publications per year on average.*

¹ <http://www.aeres-evaluation.fr/content/download/23601/362403/file/E2015-EV-0912281K-S2PUR150009187-006219-RD.pdf>.



Technische Universität München



Forschungs-Neutronenquelle
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

- *To keep its leadership in science with neutrons, Europe has launched the project of the European Spallation Source (ESS). France engages at ESS as it recognizes the strategic importance of science with neutrons in addressing the Grand Challenges of a modern high tech society. In consequence the LLB has been assigned as bridgehead to coordinate the French contribution in designing, building and operating the instrumentation of ESS. This will include in-kind deliverables. Currently the LLB organizes the interest of French groups, and seeks for collaboration with expert groups within Europe. In a certain way CAP 2017 is part of this new mission, here LLB tests new instrument ideas and instrument components, which may enter into the future ESS instrumentation. The visiting committee highly welcomes this additional orientation of the LLB, in particular giving LLB a clear long-term perspective. LLB with its expertise in instrumentation and with its national and international user base is in an excellent position to fulfill this task.*
- *The visiting committee is concerned about the proposed shut down of ORPHÉE in 2020. Firstly, the French neutron community needs a local/national/easily accessible neutron source which serves as learning/training/preparing source for getting access at the international leading neutron source, namely the ILL. Today about 60 % of all French neutron experiments are performed at LLB, 30 % at ILL and 10 % abroad. The visiting committee doubts that creating more French CRGs at ILL can compensate the loss of ORPHÉE. Further, first neutrons at ESS will not be available before 2021 and another five years are necessary to develop an acceptable international user service. Also from that perspective a closure of ORPHÉE in 2020 is premature; France weakens its competitiveness just at the moment when the supposed to be world's best neutron source becomes available.*
- *The full operation of ORPHÉE until 2025 must be considered in order to give the French neutron community the means it needs to be competitive in the field of science with neutrons and to better bridge the gap to the start-up of ESS.*
- *Considering LLB's task to be the French bridgehead for the scientific exploitation of the future ESS, the largest efforts should be made to maintain the level of staffing in the current period of austerity and to increase it as soon as possible.*
- *LLB has the strength to take a clear lead on the development of one or several instruments at the ESS. This should benefit from stronger support from the LLB shareholders, including through in-kind participation to the ESS.*

Today, the committee is extremely worried about the threat of a possible premature closure of ORPHEE as communicated to the international community on 29th April 2015 in a letter by the LLB directorate and staff. In such a scenario the



Technische Universität München



Forschungs-Neutronenquelle
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

French Neutron Science community will be without a national source in a very few years and thereby very quickly lose its international competitiveness. **We note that such possible action would contradict essentially all recommendations by the international AERES evaluation committee.**

Scientific communities from neighboring countries such as Germany, UK, Switzerland, Hungary, Czech Republic, all have their national neutron sources to perform world-class science now and to prepare for the long-term use of the ESS. For a community as large, diverse and productive as that in France, the visiting committee doubts about the feasibility of creating more French CRGs at ILL in order to compensate the loss of ORPHÉE.

As a very first consequence of a premature closure of ORPHÉE, the French community will lose its main competitive advantage in neutron science and be less successful in obtaining beam time at the leading international neutron source, the Institute Laue Langevin. At the time when the ESS will become fully operational – around 2025 – the French neutron community will have shrunk dramatically and will not be able to use the ESS in a way appropriate to its scientific weight within Europe.

Being aware of today's severe challenges in financing fundamental research in France the visiting committee does not recognize any short or mid-term economic sense in the action of closing ORPHEE prematurely.

I) Basic research with neutrons is indispensable for giving answers to the great societal challenges like health, environmental friendly energy supply, sustainable mobility, information technology or nanomaterials. Missing this weakens the national economy.

II) The return on French investment into ESS is diminished frivolously because the French community risks not being competitive in using and developing the ESS.

III) Further, closing a well-maintained nuclear facility creates the need of spending more in short term because dismantling might become more expensive than operating, and does not exclude the necessity of building one other national source.

This in mind, the committee repeats its recommendation to maintain the ORPHÉE operational at full power and maximum number of days up to 2025; **it moreover recommends to develop before 2025 a strategy for an alternative national source** in order to guarantee neutrons for world-class science in France, an appropriate French utilization of the ILL, and in the long-term a competitive use of the ESS.



Technische Universität München



Forschungs-Neutronenquelle
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

The expert members of the AERES evaluation committee:

Mr. Winfried PETRY, Technische Universität München, Germany, Chair of the
visiting committee

Mr. Loïc BERTRAND, IPANEMA, Gif-sur-Yvette (CoNRS representative)

Mr. Jean-Michel GUENET, Institut Charles Sadron, Strasbourg

Mrs. Claudine LACROIX, Institut Néel, Grenoble

Ms. Régine PERZYNSKI, PHENIX, Paris

Mr Christian RÜEGG, Paul Scherrer Institute and University of Geneva, Swit-
zerland

Lettre HERCULE European School - 2015

Vincent Favre-Nicolin
 Université Grenoble Alpes
 CEA Grenoble
 Institut Nanosciences & Cryogénie
 17, rue des Martyrs
 38054 Grenoble Cedex 9
 e-mail : direction@hercules-school.eu
hercules@hercules-school.eu

HERCULES European School



Grenoble, le 16 juin 2015

Le Laboratoire Léon Brillouin, et son réacteur Orphée, est un outil essentiel de recherche et de formation par l'utilisation de neutrons. Depuis 1992, le LLB a accueilli sans interruption des étudiants de l'école Européenne HERCULES, avec en moyenne une cinquantaine de participants chaque année. Avec les autres formations (Formation à la Neutronique du LLB notamment) organisées par le LLB, ce sont des milliers de chercheurs qui ont ainsi été formés durant les dernières décennies sur le réacteur Orphée.

A l'heure où il existe de nombreuses incertitudes pour l'utilisation des neutrons (à cause de contraintes budgétaires post-Fukushima ou/et liées au prix du combustible), il est important de rappeler que l'existence de ces formations pratiques permet de renouveler en continu la communauté des utilisateurs de neutrons, que cela soit en physique, chimie, ou biologie. Même si la nouvelle source ESS doit venir à terme augmenter la capacité de de recherche au niveau européen, la fermeture prématurée du réacteur Orphée serait extrêmement dommageable à la solidité de la communauté française des utilisateurs de neutrons.

Nous soutenons donc très fortement la direction du LLB pour demander à ce que le réacteur Orphée puisse continuer à fonctionner dans de bonnes conditions au moins jusqu'à la fin de la décennie.

FAVRE-NICOLIN Vincent	Univ. Grenoble Alpes	
PERNOT Petra	ESRF, Grenoble	
GABEL Frank	IBS Grenoble	
DALMAS de REOTIER Pierre	INAC CEA Grenoble	
REGNARD Jean-René	Univ. Grenoble / CEA	
MAZET Youlia	UJF	
BONHOUR-ESTANNIN Clotilde	Florelis - UJF	
DJURADO David	CNRS - /CEA Grenoble	
PLUMB Nicholas	Paul Scherrer Institut, Switzerland	
GERMIANO Joseph	UJF	
KRISCH Michael	ESRF	
BARUCHEL Jose'	ESRF	
BEUTIER Guillaume	CNRS - Grenoble INP	

Lettre du Laboratoire PHENIX - 2015

Laboratoire PHENIX – UMR 8234 CNRS/UPMC
Université Pierre et Marie Curie
4 place Jussieu , Bât F74, CC 51
75005 PARIS, FRANCE

Éléments de réflexion sur le futur de la neutronique française : le point de vue de l'UMR PHENIX

Adopté par le conseil de laboratoire de l'UMR PHENIX le 17 juillet 2015

Les techniques de diffusion neutronique sont parmi les outils de recherche fondamentaux des chercheurs et doctorants du laboratoire Physicochimie des Électrolytes et Nanosystèmes Interfaciaux (PHENIX, UMR UPMC-CNRS 8234), puisqu'à l'heure actuelle 9 permanents, chercheurs ou enseignants chercheurs, sont des utilisateurs réguliers des sources de neutrons. Cette implication du laboratoire PHENIX dans les techniques neutroniques fait partie intégrante de l'histoire du laboratoire et ce depuis plusieurs décennies. À titre d'exemple, sur les 10 dernières années, 14 doctorants dont 5 en cours de thèse ont basé ou basent leurs travaux sur ces techniques (cf Appendice B).

Les thèmes abordés au sein de notre laboratoire peuvent être schématiquement distribués en quatre axes et ont donné lieu à 63 publications avec des contributions de la diffusion de neutrons dans les 10 dernières années:

1. *Matériaux argileux* : grâce à la spécificité des neutrons associée aux atomes d'hydrogène, la dynamique de l'eau a pu être étudiée à l'échelle microscopique grâce aux techniques de diffusion quasiélastiques, ce qui avait été très peu abordé auparavant. Ces expériences associées à des simulations numériques, une des spécialités de l'UMR, ont fait l'objet de plusieurs thèses et de nombreux articles (cf Appendice A, Axe A). Elles représentent de plus un intérêt sociétal marqué puisque bon nombre des travaux autour de ces thèmes ont été financés par différentes structures et/ou agences, l'ANDRA, notamment.
2. *Molécules chargées en solution* : cet axe fondateur du laboratoire exploite depuis longtemps et avec succès les spécificités des neutrons associées aux possibles modifications de contraste, ainsi que leur aptitude à distinguer les petites molécules constituées d'atomes légers que constituent les solvants et les solutés moléculaires (cf Appendice A, axe B).
3. *Nanomatériaux* : ces systèmes complexes bénéficient de la spécificité des neutrons associée à la variation de contraste, qui permet de sélectionner le constituant qui crée le signal et d'en masquer un autre. La contribution des neutrons a par exemple été essentielle dans la compréhension de l'organisation des asphaltènes, fraction mal comprise des pétroles (cf Appendice A, Axe C).
4. *Suspensions colloïdales* : l'étude des dispersions de nanoparticules magnétiques (ferrofluides), en particulier de leur comportement sous champ magnétique a beaucoup bénéficié de la diffusion aux petits angles, qui a permis de comprendre leur structure. Dans ces systèmes, les neutrons sont utilisés quand ils sont plus performants

que des rayons X. En effet, ces derniers étant fortement absorbés par les particules d'oxydes métalliques, des difficultés d'échantillonnage limitent parfois les conclusions accessibles (cf Appendice A, Axe D).

Nombre des études énumérées ci-dessus n'auraient pu exister sans l'existence du Laboratoire Léon Brillouin, adossé au réacteur Orphée, qui a joué un rôle majeur pour notre laboratoire. Ceci est particulièrement vrai dans le cadre du premier axe sur les matériaux argileux. En effet, le LLB a accordé aux différents projets déposés par les membres de PHENIX un temps de faisceau important, notamment sur le spectromètre à écho de spin, où les expériences sont difficiles et longues, particulièrement dans le cas de matériaux naturels peu étudiés par ces techniques jusqu'alors. Cela a permis d'aboutir à des résultats pour deux thèses et d'obtenir, par la suite, du temps de faisceau sur d'autres réacteurs, ce qui n'aurait jamais été possible sans ces premières expériences.

Ce rôle d'amorceur du temps de faisceau attribué par le LLB, en particulier pour les projets doctoraux, et de formation, a été crucial pour de nombreux étudiants de notre laboratoire, qui sont devenus, dans la suite de leur carrière, des membres actifs de la communauté française et internationale des utilisateurs des techniques de diffusion neutroniques. Ceci a maintenu et dynamisé cette communauté scientifique.

En ce qui concerne les travaux réalisés au sein de PHENIX et de ses prédécesseurs, de nombreuses mesures ont été effectuées au LLB mais d'autres centres ont également été utilisés permettant une complémentarité fructueuse (ILL, GKSS, HMI, ISIS, IPNS, FRM II, ORNL). Ces expériences nous ont également montré de façon très claire que les spectromètres du LLB sont des instruments performants, associés à des programmes de traitement efficaces et à des interlocuteurs compétents. Ce dernier aspect est décisif dans la mesure où l'interaction avec les personnels du LLB lors des expériences sur Orphée a toujours été de l'ordre de la collaboration scientifique plutôt que du service, ce qui se révèle systématiquement bénéfique pour les différents partenaires. La liste de co-auteurs de nos publications en atteste.

Dans ce contexte, une fermeture précoce du réacteur Orphée, devant de plusieurs années l'ouverture de l'ESS, nous semble représenter un obstacle considérable notamment pour assurer la continuité de nombreux travaux en cours, sans évoquer le développement de champs de recherche émergents. En effet, non seulement le temps de faisceau disponible sera nettement réduit et la pression bien plus forte, mais la formation de jeunes scientifiques au sein de la communauté neutronique en sera fortement affectée. Ceci pourrait se révéler extrêmement préjudiciable pour l'ensemble de la communauté neutronicienne française qui est à l'heure actuelle nombreuse, reconnue et structurée.

Une continuité de fonctionnement du réacteur Orphée jusqu'à l'ouverture de l'ESS permettrait d'assurer une transition convenable notamment si elle est associée à une réflexion de fond sur l'organisation future des outils de la neutronique, prenant en compte les rôles respectifs de structures internationales comme l'ESS et l'ILL, et des structures à plus petite échelle telles que le LLB/Orphée, qui, nous en sommes persuadés, remplissent des fonctions complémentaires.

Documents joints :

Appendice A : liste de publications faisant appel à la diffusion de neutrons

Appendice B : liste des doctorats contenant une contribution de diffusion de neutrons

Appendice A: Publications des membres de PHENIX contenant des contributions de la diffusion de neutrons

63 articles depuis 2005 dans des revues internationales avec comité de lecture présentés ici en quatre axes : a) Matériaux argileux, b) Molécules chargées en solution, c) Nanomatériaux et d) Colloïdes en solution.

Axe A: Matériaux argileux

- 1) Martins, M.L., Gates, W.P., Michot, L., Ferrage, E., Marry, V., Bordallo, H.N. (2014) *Neutron scattering, a powerful tool to study clay minerals*; **Applied Clay Science** 96, 22-35.
- 2) V. Marry, E. Dubois, N. Malikova, J. Breu and W. Häussler (2013) *Anisotropy of water dynamics in clays: insights from molecular simulations for experimental QENS analysis*; **J Phys Chem C** 117, 15106-15115.
- 3) J.-M. Zanotti, K. Lagrene, N. Malikova, P. Judeinstein, K. Panesar, J. Ollivier, S. Rols, M. Mayne-L'Hermite, M. Pinault, and P. Boulanger (2012) *Nanometric confinement: toward new physical properties and technological developments Relevance and potential contributions of neutron scattering*; **Eur. Phys. J. – Special Topics** 213, 129-148.
- 4) Jimenez-Ruiz M., Ferrage E., Delville A., Michot L.J. (2012) *Anisotropy on the collective dynamics of water confined in swelling clay minerals*; **J Phys Chem C** 116, 2379-2387.
- 5) Michot, L.J.; Ferrage, E.; Jimenez-Ruiz, M.; Boehm, M.; Delville, A. (2012) *Anisotropic Features of Water and Ion Dynamics in Synthetic Na- and Ca-Smectites with Tetrahedral Layer Charge. A Combined Quasi-elastic Neutron-Scattering and Molecular Dynamics Simulations Study*. **J Phys Chem C** 116, 16619-16633.
- 6) Gates, Will P.; Bordallo, Heloisa N.; Aldridge, Laurence P.; Seydel, Tilo, Jacobsen, Henrik, Marry, Virginie, Churchman, G. Jock (2012) *Neutron Time-of-Flight Quantification of Water Desorption Isotherms of Montmorillonite*; **J Phys Chem C** 116, 5558-5570.
- 7) V. Marry, E. Dubois, N. Malikova, S. Durand-Vidal, S. Longeville and J. Breu (2011) *Water dynamics in hectorite clays: influence of temperature studied by coupling Neutron Spin Echo and Molecular Dynamics*; **Environmental Science and Technology** 45, 2850-2855.
- 8) Ferrage E., Sakharov B., Michot L.J., Delville A., Bauer A., Lanson B., Grangeo N. S., Frapper G., Jimenez-Ruiz M., Cuello G. J. (2011) *Hydration Properties and Interlayer Organization of Water and Ions in Synthetic Na-Smectite with Tetrahedral Layer Charge. Part 2. Towards a Precise Coupling Between Molecular Simulations and Diffraction Data*; **J Phys Chem C** 115, 1867-1881.
- 9) Malikova N, Dubois E, Marry V, Rotenberg B, Turq P (2010) *Dynamics in Clays - Combining Neutron Scattering and Microscopic Simulation*; **Zeitschrift für physikalische Chemie** 224 (1-2), 153-181.

- 10) N. Malikova, S. Longeville, J.-M. Zanotti, E. Dubois, V. Marry, P. Turq, J. Ollivier (2008) *Signature of low dimensional motion in complex systems*, **Phys. Rev. Lett.** 101, 265901.
- 11) V. Marry, N. Malikova, A. Cadène, E. Dubois, S. Durand-Vidal, P. Turq, J. Breu, J.-M. Zanotti and S. Longeville (2008) *Water diffusion in a synthetic hectorite by neutron scattering – beyond the isotropic translational model*, **J. Phys : Condensed Matter** 20, 104205.
- 12) Bihannic I., Delville A., Demé B., Plazanet M., Villières F., Michot, L.J. (2008) *Clay swelling : new insights from neutron based techniques*, in: *Neutron Applications in Earth, Energy, and Environmental Sciences*, editors L Liang, R Rinaldi, H. Schober, Springer.
- 13) N. Malikova, A. Cadène, E. Dubois, S. Durand-Vidal, V. Marry, P. Turq, J. Breu, S. Longeville and J.-M. Zanotti (2007) *Water diffusion in a synthetic hectorite clay studied by quasi-elastic neutron scattering*, **J. Phys. Chem C** 111, 17603-17611.
- 14) Michot L.J., Delville A., Humbert, B., Plazanet, M., Levitz, P. (2007) *Diffusion of Water in a Synthetic Clay with Tetrahedral Charges by Combined Neutron Time of Flight Measurements and Molecular Dynamics Simulations*. **J. Phys. Chem. C** 111, 9818-9831.
- 15) N. Malikova, A. Cadène, V. Marry, E. Dubois, P. Turq (2006) *Diffusion of water in clays on the microscopic scale – modelling and experiment*, **J. Phys. Chem. B** 110, 3206-3214.
- 16) Devineau, K., Bihannic, I., Michot, L.J., Villières, F., Masrouri, F., Cuisinier, O., Fragneto, G., Michau, N. (2006) *In situ neutron diffraction analysis of the influence of geometric confinement on crystalline swelling of montmorillonite*, **Applied Clay Science** 31, 76-84.
- 17) N. Malikova, A. Cadène, V. Marry, E. Dubois, P. Turq, J.-M. Zanotti and S. Longeville (2005) *Diffusion of water in clays – microscopic simulation and neutron scattering*, **Chemical Physics** 317 (2-3), 226-235.
- 18) Rinnert, E., Carteret, C., Humbert, B., Fragneto-Cusani, G., Ramsay, J.D.F., Delville, A., Robert, J.-L., Bihannic, I., Pelletier, M., Michot, L.J. (2005) *Hydration of a synthetic clay with tetrahedral charges: a multidisciplinary experimental and numerical study*. **J. Phys. Chem. B** 109, 23745-23759.

Axe B: Molécules chargées en solution

- 19) N. Malikova, A.-L. Rollet, S. Cebasek, M. Tomsic and V. Vlachy (2015) *On the crossroads between current polyelectrolyte theory and counterion-specific effects*; **Phys. Chem. Chem. Phys.** 17, 5650-5658.
- 20) D. Bhowmik, N. Malikova, G. Meriguet, O. Bernard, J. Teixeira and P. Turq (2014) *Aqueous solutions of tetralkylammonium halides: ion hydration, dynamics and ion-ion interactions in light of steric effects*; **Phys. Chem. Chem. Phys.** 16, 13447-13457.

- 21) R. Nguyen, N. Jouault, S. Zanirati, M. Rawiso, L. Allouche, G. Fuks, E. Buhler and N. Giuseppone (2014) *Core-shell inversion by pH modulation in dynamic covalent micelles*; **Soft Matter** 10, 3926-3937.
- 22) Peyre, V., Bouguerra, S., Testard, F. (2013) *Micellization of dodecyltrimethylammonium bromide in water-dimethylsulfoxide mixtures: A multi-length scale approach in a model system*. **Journal of Colloid and Interface Science** 389, 164-174.
- 23) N. Malikova, S. Cebasek, V. Glenisson, D. Bhowmik, G. Carrot and V. Vlachy (2012) *Aqueous solutions of ionenes: interactions and counterion specific effects as seen by neutron scattering*; **Phys. Chem. Chem. Phys.** 14, 12898-12904.
- 24) D. Bhowmik, N. Malikova, J. Teixeira, G. Mériguet, O. Bernard, P. Turq and W. Häussler (2012) *Study of tetrabutylammonium bromide in aqueous solution by neutron scattering*; **Eur. Phys. J. – Special Topics** 213, 303-313.
- 25) G. Du, E. Moulin, N. Jouault, E. Buhler and N. Giuseppone (2012) *Muscle-like Supramolecular Polymers : Integrated Motion from Thousands of Molecular Machines*; **Angew. Chem. Int. Ed.** 51, 12504-12508.
- 26) N. Jouault, R. Nguyen, M. Rawiso, N. Giuseppone and E. Buhler (2011) *SANS, SAXS and light scattering investigations of pH-responsive dynamic combinatorial mesophases*; **Soft Matter** 7, 4787-4800.
- 27) S. DOUADI-MASROUKI, B. FRKA-PETESIC, O. SANDRE, F. COUSIN, V. DUPUIS, R. PERZYNSKI, V. CABUIL (2009) *Neutron reflectivity on polymer multilayers doped with magnetic nanoparticles*, **Solid State Phenomena** 152-153, 194-197.
- 28) C. RIVIERE, C. WILHELM, F. COUSIN, V. DUPUIS, F. GAZEAU, R. PERZYNSKI (2007) *Internal structure of Hela magnetic endosomes*, **The European Physics J. E** 22, 1-10.
- 29) S. LECOMMANDOUX, O. SANDRE, F. CHÉCOT, J. RODRIGUEZ-HERNANDEZ, R. PERZYNSKI (2006) *Self assemblies of magnetic and di-block copolymers : micelles and vesicles*; **J. Magn. Magn. Mat.** 300, 71-74.
- 30) S. LECOMMANDOUX, O. SANDRE, F. CHÉCOT, R. PERZYNSKI (2006) *Smart hybrid magnetic self-assembled micelles and hollow capsules*; **Progress in Solid State Chemistry** 34, 171-190.
- 31) S. LECOMMANDOUX, O. SANDRE, F. CHÉCOT, R. RODRIGUEZ-HERNANDEZ, R. PERZYNSKI (2005) *Magnetic nano-composite micelles and vesicles*; **Advanced Materials** 17, 712.

Axe C: Nanomatériaux

- 32) Brisard, Sebastien; Levitz, Pierre (2013) *Small-angle scattering of dense, polydisperse granular porous media: Computation free of size effects*; **Phys. Rev. E** 87(1), 013305.
- 33) A. Slodczyk, Ph. Colomban, N. Malikova, O. Zaafrani, S. Longeville, J.-M. Zanotti, O. Lacroix, B. Sala (2013) *Bulk protons in anhydrous perovskites – neutron scattering studies*; **Solid State Ionics** 252, 7-11.

- 34) A.L. Rollet, M. Allix, E. Veron, M. Deschamps, V. Montouillout, M. Suchomel, E. Suard, M. Barre, M. Ocaña, A. Sadoc, F. Boucher, C. Bessada, D. Massiot, F. Fayon (2012) *Synthesis and structure resolution of RbLaF₄*; **Inorg. Chem.** 51, 2272–2282.
- 35) Eyssautier, Joelle; Levitz, Pierre; Espinat, Didier; Jestin, Jacques, Gummel, Jeremie, Grillo, Isabelle, Barre, Loic (2011) *Insight into Asphaltene Nanoaggregate Structure Inferred by Small Angle Neutron and X-ray Scattering*, **J. Phys. Chem. B** 115(21), 6827-6837.
- 36) C. Chevigny, N. Jouault, F. Dalmas, F. Boué and J. Jestin (2011) *Tuning the mechanical properties in model nanocomposites : influence of interfacial interactions*; **Journal of Polymer Science Part B : Polymer Physics** 49, 781–791.
- 37) N. Jouault, F. Dalmas, S. Said, E. Di Cola, R. Schweins, J. Jestin and F. Boué (2010) *Direct measurements of polymer chain conformation in well-controlled model nanocomposites by combining SANS and SAXS*; **Macromolecules** 43, 9881-9891.
- 38) N. Jouault, F. Dalmas, S. Said, E. Di Cola, R. Schweins, J. Jestin and F. Boué (2010) *Direct small angle neutron scattering observation of stretched chains in model nanocomposites : more insights in mechanical reinforcement*. **Phys. Rev. E** 82, 031801 (2010).
- 39) D. S. Bhangé, C. Dejoie, F. Porcher, N. Malikova, P. Martinetto, E. Dooryhe and M. Anne (2010) *Dynamic Study of N,N-dimethylparanitroaniline encapsulated in Silicalite-1 matrix using neutron spin-echo spectroscopy*; **Eur. Phys. J. – Special Topics** 189, 279-284.
- 40) N. Jouault, P. Vallat, F. Dalmas, S. Said, J. Jestin, and F. Boué (2009) *Well-dispersed fractal aggregates as filler in polymer silica nanocomposites : long-range effects in rheology*; **Macromolecules** 42, 2031-2040.
- 41) Cousin, Fabrice; Cabuil, Valerie; Grillo, Isabelle; Levitz, Pierre (2008) *Competition between Entropy and Electrostatic Interactions in a Binary, Colloidal Mixture of Spheres and Platelets*, **Langmuir** 24(20), 11422-11430.
- 42) N. Malikova, C.-K. Loong, J.-M. Zanotti et F. Fernandez-Alonso (2007) *Proton-containing yttrium-doped barium cerate: a concurrent structural and dynamic study*, **J. Phys. Chem. C** 111, 6574-6580.
- 43) Dosseh, Gilberte; Le Quellec, Christelle; Brodie-linder, Nancy; Alba-simionesco, Christiane, Haeussler, Wolfgang, Levitz, Pierre (2006) *Fluid-wall interactions effects on the dynamical properties of confined orthoterphenyl*; **Journal of Non-crystalline Solids – Special Issue** 352(42-49), 4964-4968.

Axe D: Colloïdes en solution

- 44) M. Mamusa, J. Sirieix-Plénet, R. Perzynski, F. Cousin, E. Dubois, V. Peyre (2015) *Concentrated assemblies of magnetic nanoparticles in ionic liquids*; **Faraday Discuss.** Advance Article, DOI: 10.1039/C5FD00019J
- 45) M. Mamusa, J. Sirieix-Plénet, F. Cousin, R. Perzynski, E. Dubois, V. Peyre (2014) *Microstructure of colloidal dispersions in the ionic liquid ethyl ammonium nitrate : influence of the nature of nano particle's counterion*; **J. Phys. : Condens. Matter** 26, 284113.

- 46) M. Mamusa, J. Sirieix-Plénet, F. Cousin, E. Dubois and V. Peyre (2014) *Tuning the colloidal stability in ionic liquids by controlling the nanoparticles/liquid interface*; **Soft Matter** 10, 1097.
- 47) B. Frka-Petesic, E. Dubois, L. Almassy, V. Dupuis, F. Cousin and R. Perzynski (2013) *Structural probing of clusters and gels of self-aggregated magnetic nanoparticles*; **Magneto hydrodynamics** 49(3/4), 328-338.
- 48) G. Mériguet, E. Wandersman, E. Dubois, A. Cebers, J. de Andrade Gomes, G. Demouchy, J. Depuyrot, A. Robert, and R. Perzynski (2012) *Magnetic fluids with tunable interparticle interaction : monitoring the under-field local structure*; **Magneto hydrodynamics** 48(2), 415-426.
- 49) J. Galicia, F. Cousin, E. Dubois, O. Sandre, V. Cabuil, R. Perzynski (2011) *Local structure of polymeric ferrogels*; **J. Magn. Magn. Mat.** 323(10), 1211.
- 50) Qi, L.; Fresnais, J.; Berret, J. F.; Castaing, J. C.; Destremaut, F.; Salmon, J. B.; Cousin, F.; Chapel, J. P. (2010) *Influence of the Formulation Process in Electrostatic Assembly of Nanoparticles and Macromolecules in Aqueous Solution: The Mixing Pathway*, **J Phys. Chem. C** 114 (39), 16373- 16381.
- 51) Qi, L.; Fresnais, J.; Berret, J. F.; Castaing, J. C.; Grillo, I.; Chapel, J. P. (2010) *Influence of the Formulation Process in Electrostatic Assembly of Nanoparticles and Macromolecules in Aqueous Solution: The Interaction Pathway*; **J Phys. Chem. C** 114 (39), 12870- 12877.
- 52) M.V.Avdeev, E.Dubois, G.Mériguet, E.Wandersman, V.M.Garamus, A.V.Feoktystov, R. Perzynski (2009) *Small-angle neutron scattering analysis of a water-based magnetic fluid with charge stabilization : contrast variation and scattering of polarized neutrons*; **J.Appl.Cryst.** 42, 1009-1019.
- 53) A. Galicia, F. Cousin, E. Dubois, O. Sandre, V. Cabuil, R. Perzynski (2009) *Static and dynamic structural probing of swollen polyacrylamide ferrogels*; **Soft Matter** 5, 2614-2624.
- 54) E. Wandersman, E. Dubois, F. Cousin, V. Dupuis, G. Mériguet, R. Perzynski and A. Cebers (2009) *Relaxation of the field-induced structural anisotropy in a rotating magnetic fluid*; **Eur. Phys. Lett.** 86, 10005.
- 55) B. FRKA-PETESIC, J. FRESNAIS, J.-F. BERRET, V. DUPUIS, R. PERZYNSKI, O. SANDRE (2009) *Stabilization and controlled association of superparamagnetic nanoparticles using block copolymers*, **J. Magn. Magn. Mat.** 321, 667-670.
- 56) N. Jouault, Y. Corvis, F. Cousin, J. Jestin and L. Barré (2009) *Asphaltene adsorption mechanisms on the local scale probed by neutron reflectivity : transition from monolayer to multilayer growth above the flocculation threshold*; **Langmuir** 25, 3991-3998.
- 57) Qi, L.; Sehgal, A.; Castaing, J. C.; Chapel, J. P.; Fresnais, J.; Berret, J. F.; Cousin, F. (2008) *Redispersible Hybrid Nanopowders: Cerium Oxide Nanoparticle Complexes with Phosphonated-PEG Oligomers*, **Acs Nano** 2(5), 879-888.
- 58) J. FRESNAIS, J.-F. BERRET, L. QI, J.-P. CHAPEL, J.-C. CASTAING, O. SANDRE, B. FRKA-PETESIC, R. PERZYNSKI, J. OBERDISSE, F. COUSIN (2008) *Universal scattering behavior of co-assembled nanoparticle-polymer clusters*, **Phys. Rev. E** 78, 040401.

- 59) G. Mériguet, G. Demouchy, E. Dubois, R. Perzynski, and A. Bourdon (2007) *Experimental determination of the Soret coefficient of ionic ferrofluids* ; **Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics** 32 (3), 271-279.
- 60) G. Mériguet, E. Dubois, M. Jardat, A. Bourdon, G. Demouchy, V. Dupuis, B. Farago, R. Perzynski, P. Turq (2006) *Understanding the structure and the dynamics of magnetic fluids : coupling of experiment and simulation* ; **J. Phys. : Condens. Matter** 18, S2685-S2696.
- 61) G. Mériguet, F. Cousin, E. Dubois, F. Boué, A. Cebers, B. Farago, R. Perzynski (2006) *What Tunes the Structural Anisotropy of Magnetic Fluids under a Magnetic Field ?* **J. Phys. Chem. B** 110, 4378-4386.
- 62) G. Mériguet, E. Dubois, V. Dupuis, R. Perzynski (2006) *Rotational arrest in a repulsive colloidal glass* ; **J. Phys. : Condens. Matter** 18 (45), 10119-10132.
- 63) G. Mériguet, E. Dubois, A. Bourdon, G. Demouchy, V. Dupuis, R. Perzynski (2005) *Forced Rayleigh Scattering experiments in concentrated magnetic fluids : effect of interparticle interactions on the diffusion coefficient* ; **J. Magn. Magn. Mat.** 289, 39-42.

Appendice B: Thèses de PHENIX contenant des contributions de la diffusion de neutrons

En cours:

- (1) **A. CHRISTOULAKI** – “Structure et dynamique des chaînes polyélectrolytes sous confinement”, (2015-2018)
- (2) **S. HOUSNI** – “Floculation magnétiquement assistée et procédés d’oxydation avancée sur des suspensions d’argile”, (2015-2018)
- (3) **Y. SAKHAWOTH** – “Floculation – formation et structure des agrégats entre les chaînes de polyélectrolyte et des colloïdes type argile”, (2014-2017)
- (4) **S. TESSON** – “Hydratation des argiles: spectroscopies et simulations à l’échelle moléculaire”, (2013-2016)
- (5) **F. HENRIQUE MARTINS da SILVA** – “Etude structurale de nanoparticules de ferrite mixte à base de Mn et de Zn en proportions variables et leurs dispersions aqueuses”, (2013-2016)

Soutenues:

- (6) **C. GUIBERT** – “Etude des propriétés d’hyperthermie de nanoparticules dispersées dans des systèmes complexes”, (2015)
- (7) **M. MAMUSA** – “Interactions colloïdales dans les liquides ioniques”, (2014)
- (8) **G. BEALLE** – “Préparation de vésicules magnétiques pour le traitement anticancéreux par hyperthermie ou par photothérapie dynamique”, (2012)
- (9) **D. BHOWMIK** – “Etude de la dynamique d’ions hydrophobes en solutions aqueuses par diffusion de neutrons et par simulation numérique”, (2011)
- (10) **B. FRKA-PETESIC** – “Agrégats de nanoparticules magnétiques auto-assemblées”, (2010)
- (11) **E. WANDERSMAN** – “Transition Vitreuse de Nanoparticules Magnétiques en Interaction”, (2007)
- (12) **A. CADENE** – “Etude expérimentale multiéchelle du transport ionique et aqueux en milieu poreux chargé : argiles”, (2005)
- (13) **G. MERIGUET** – “Structure et dynamique des colloïdes magnétiques : détermination expérimentale et modélisation brownienne”, (2005)
- (14) **N. MALIKOVA** – “Dynamique de l’eau et des ions dans des argiles de type montmorillonite par simulation microscopique et diffusion quasi-élastique des neutrons”, (2005)

Lettre de l'Institut NEEL - 2015



M. Alain FUCHS
Président du CNRS

Grenoble, le 26 Juin 2015

Objet : Devenir de la neutronique française

Monsieur le Président,

Par ce courrier, l'Institut Néel désire exprimer une forte inquiétude concernant la mutation annoncée du paysage de la neutronique française.

La France, grâce à la présence sur son sol d'une source nationale (LLB-Orphée) et d'une source européenne (ILL) a aujourd'hui une expertise reconnue dans les techniques neutroniques. La communauté française mène ainsi une recherche, à la fois fondamentale et en lien avec l'industrie, au tout premier plan international dans les domaines très variés : matière molle, magnétisme, supraconductivité, matériaux, biophysique, nanosciences, etc... Dans ces domaines, les neutrons sont souvent l'unique sonde permettant d'accéder aux propriétés de la matière.

A l'Institut Néel, nos études de magnétisme moléculaire, magnétisme frustré et de basse dimension, ordres multipolaires ou multiferroïques, supraconductivité, excitations élémentaires des fluides quantiques, ... utilisent largement les installations du LLB et de l'ILL. En partenariat avec l'Espagne, l'Institut Néel a la responsabilité d'un diffractomètre de poudre extrêmement performant, le CRG D1B à l'ILL. Enfin, la collaboration très étroite entre les chercheurs de l'Institut Néel et la communauté française de neutronique a un rôle essentiel dans la conception d'expériences novatrices sur des sujets émergents et le développement de techniques sophistiquées d'analyse des données.

Ainsi, nous nous inquiétons de l'impact sur nos recherches de la réduction de temps de faisceau disponible avec l'arrêt fin 2019 du réacteur ORPHEE, puis celui de l'ILL prévu vers 2030. Du fait là aussi d'un temps disponible limité, la source à spallation européenne actuellement en construction (European Spallation Source, ESS, Lund, Suède) ne pourra répondre qu'à une partie du besoin de la communauté française, et ce au plus tôt à partir de 2023. De plus, la disparition de sources sur le territoire pourra avoir des conséquences importantes sur le dynamisme et la créativité de la communauté nationale.

L'Institut Néel formule donc le souhait que ses chercheurs, et au-delà la communauté nationale utilisatrice des méthodes neutroniques, soient associés aux réflexions à mener sur l'avenir de la neutronique française et le devenir du Laboratoire Léon Brillouin. Pour tirer le meilleur parti de la participation française à ESS (140 millions d'euros soit 8-9% du coût total), il est essentiel de ne pas assécher le vivier national d'utilisateurs, de concepteurs, et de chercheurs en neutronique... Une stratégie nationale pourrait inclure un projet à long terme d'une source à spallation nationale équipée d'une suite d'instruments complémentaires de ceux de l'ESS, pouvant ainsi répondre à la demande de l'ensemble de la communauté des utilisateurs. La France pourrait ainsi rester dans ce domaine à la hauteur des autres grandes nations européennes telles que l'Allemagne, la Suisse ou l'Angleterre qui ont une source de neutrons nationale.

Je vous prie d'accepter, Monsieur le Président, l'expression de mes salutations respectueuses.

Hervé Courtois
Directeur de l'institut NEEL - UPR2940

Copies :

M. Philippe Baptiste, Directeur Général Délégué à la Science du CNRS
M. Alain Schuhl, Directeur de l'institut de Physique du CNRS
M. Dominique Massiot, Directeur de l'institut de Chimie du CNRS
Mme Amina Taleb, Directrice adjointe scientifique de l'institut de Physique du CNRS
M. Gabriel Chardin, Président du Comité des TGIR du CNRS
M. Mehran Mostafavi, Délégué Scientifique à l'institut de Chimie
Mme Pascale Launois, membre du groupe de réflexion pour le CNRS



Institut NEEL/CNRS- UJF
25, rue des Martyrs - BP 166 - 38042 Grenoble cedex 9 - France
☎ +33 (0)4 76 88 11 51 📠 +33 (0)4 76 88 12 30

L'Institut Néel est une unité propre du CNRS conventionnée avec l'Université Joseph Fourier et Grenoble-INP



Lettre du laboratoire PAM / AGROSUP Dijon - 2015

Pr Patrick GERVAIS
Directeur de l'UMR PAM
Tél. : 03 80 77 40 08
Mail : gervais@u-bourgogne.fr

**Lettre de soutien au Laboratoire Léon Brillouin
et au projet de maintien d'une source nationale de neutrons en France**

La diffusion de neutrons pour étudier les aliments

Ces dernières années, les techniques qui permettent d'étudier la structure et la dynamique de la matière molle n'ont cessé de s'améliorer et, surtout, deviennent de plus en plus adaptées à l'analyse de systèmes complexes tels que les aliments ou les ingrédients alimentaires. Néanmoins, étudier la physicochimie des aliments en utilisant les outils classiques des sciences des matériaux ou de la biophysique reste un défi, d'une part parce que les échelles de taille et de temps caractéristiques de ces systèmes couvrent plusieurs ordres de grandeurs, et d'autre part parce que ces matrices ou leurs constituants ne sont pas, la plupart du temps, à l'équilibre. Par conséquent, une perturbation extérieure telle qu'un changement de température ou de pH par exemple peuvent les faire évoluer de façon très drastique. Il est ainsi évident que seule l'utilisation d'outils biophysiques complémentaires et des concepts de la matière molle ou des sciences des matériaux permettra d'appréhender cette complexité et d'être capable à terme de mieux comprendre et maîtriser les paramètres clés dans la structuration et la stabilité des aliments.

Les différents instruments de la diffusion de neutrons (petits angles, réflectomètre, temps de vol, spin écho, imagerie et même diffraction) sont de plus en plus utilisés pour une meilleure caractérisation et compréhension des matrices d'intérêts agroalimentaires sur des thématiques clés en physicochimie des aliments, à savoir la dynamique de l'eau dans des produits peu hydratés (poudres de lait, produits céréaliers...), la structure et la dynamique de macromolécules (protéines, polysides, lipides...) en milieu concentré (gels, films), les effets de procédés comme les hautes pressions et le séchage sur la structure des matériaux alimentaires, la structuration des macromolécules (protéines, polysides) aux interfaces (mousses, émulsions) ou dans des films. Pour des chercheurs des sciences des aliments, l'un des avantages des outils de la neutronique réside dans la possibilité d'étudier des systèmes concentrés dans des environnements échantillons complexes et proches de ceux qui sont utilisés dans les procédés alimentaires (haute pression, température, congélation, cisaillement,

UMR PAM Procédés Alimentaires et Microbiologiques

Etirement ...). Le panel d'outils à disposition permet aussi d'appréhender les différentes échelles de taille et de dynamique rencontrées dans les matrices alimentaires.

Les chercheurs des sciences des aliments qui aujourd'hui utilisent la diffusion de neutrons pour étudier leurs matrices complexes bénéficient des connaissances issues de la matière molle et des sciences des polymères sur des systèmes plus modèles. Ces connaissances sont très souvent associées aux recherches plus fondamentales menées depuis de longues années par les chercheurs responsables des instruments dans les centres de neutrons. Elles sont aujourd'hui en partie transférées pour une recherche à finalité plus appliquée et sont l'une des garanties de la réussite des expériences menées en science des aliments. C'est ici tout l'intérêt d'une source nationale associée à un laboratoire de chercheurs spécialistes des neutrons et de la matière molle (par exemple) tant au niveau du développement des instruments et des environnements échantillons que des connaissances théoriques qui permettront d'optimiser la mise en place des expérimentations (de la faisabilité à la réalisation) que de la compréhension des résultats. Cette collaboration interdisciplinaire est nécessaire pour favoriser l'accès à ces outils collectifs sur des domaines plus appliqués et pour une communauté de non spécialistes ou de novices.

Ainsi il nous semble indispensable de maintenir en France, une source nationale associée à un laboratoire d'experts de la neutronique avec des chercheurs qui ont une triple mission (comme c'est le cas des chercheurs du Laboratoire Léon Brillouin) : 1- d'accompagner et de développer la neutronique, 2- de former la communauté et 3- de mener des recherches sur les grands domaines d'application de la neutronique. Ce maintien nous semble nécessaire pour pérenniser l'accès à la diffusion de neutrons aux domaines plus appliqués, mais également pour faire émerger de nouveaux utilisateurs qui pourront alors accéder aux centres européens en construction ou en fonctionnement. La complémentarité entre cette source nationale et les grandes sources européennes n'en sera que plus fructueuse.

Fait à Dijon, le 15 juin 2015



Pr Patrick GERVAIS
Directeur de l'UMR Procédés Alimentaires et Microbiologiques

Motions des sections 3, 5, 11 et 15 du CNRS - 2015



MOTION

Session de printemps 2015

Section n°03

Matière condensée : structures et propriétés électroniques

Objet : Motion sur l'avenir des sources de neutrons en France

La section 03 du Comité National exprime sa forte inquiétude quant à l'accès de la communauté scientifique aux techniques de diffusion neutronique après la confirmation par le CNRS et le CEA de l'arrêt anticipé, fin 2019, du réacteur ORPHEE alimentant le Laboratoire Léon Brillouin en neutrons.

Cette décision préfigure une baisse majeure de la capacité neutronique à moyen terme en France, qui deviendra dramatique après l'arrêt prévisible de l'ILL. Si rien n'est entrepris en effet, les moyens expérimentaux en neutronique en France seront réduits à moins de 10 % des possibilités actuelles d'ici une dizaine d'années, en dépit du démarrage de l'ESS, et alors que les autres nations européennes leaders en neutronique se sont dotées d'un plan à l'horizon 2030 garantissant des moyens expérimentaux stables, voire croissants.

La section 03 rappelle l'importance primordiale de l'utilisation des neutrons et son impact sur un grand nombre de domaines scientifiques et techniques. La section 03 appelle donc la direction du CNRS et du CEA à construire un projet à long terme garantissant l'avenir de la neutronique en France.

Motion adoptée le 25 juin 2015 à l'unanimité.

Signataire :
Président de la section
Fabio Pistolesi

Destinataires :

- M. Alain FUCHS, Président du CNRS.
- M. Philippe BAPTISTE, Directeur général délégué à la science, CNRS.
- M. Bruno CHAUDRET, Président du Conseil scientifique du CNRS.
- M. Alain SCHUHL, Président de l'Institut de Physique du CNRS.
- Mme Sophie DUCHESNE, Porte-parole de la Coordination des responsables des instances du Comité national (C3N).
- Mme Dominique FAUDOT, Présidente de la Commission permanente du Conseil National des Universités.
- M. Philippe BUTTGEN, Président de la CPCN.

Motion de la section 05

« Accès aux méthodes neutroniques »

La section 05 exprime une forte inquiétude concernant l'accès de la communauté scientifique aux méthodes neutroniques, après la confirmation par le CNRS et le CEA de l'arrêt fin 2019 du réacteur ORPHEE qui alimente le Laboratoire Léon Brillouin (UMR12, Saclay). Elle exprime sa crainte que la source à spallation européenne (European Spallation Source, ESS, Lund, Suède) ne réponde qu'à une partie du besoin de la communauté nationale du fait d'un temps disponible limité et du statut international de l'ESS.

Elle s'inquiète du délai entre la fermeture d'ORPHEE et le plein démarrage de l'ESS. Elle souhaite être informée des perspectives réelles de transfert de certains instruments du LLB à l'Institut Laue-Langevin (ILL, Grenoble) au regard des contraintes techniques et des coûts associés, et connaître les engagements humains et financiers vis-à-vis des lignes développées à l'ESS. Eu égard à la taille et l'excellence de la recherche française dans le domaine, elle souhaite qu'un scénario phasé précise l'utilisation à venir des différentes sources, ORPHEE, ILL et ESS, au regard des besoins de la communauté. Elle demande à ce que la communauté utilisatrice des méthodes neutroniques, directement concernée, soit fortement associée à l'ensemble de ces réflexions.

La section 05 suivra avec grande attention le travail sur les orientations scientifiques, mené en interne au LLB et en relation avec le groupe du travail mis en place par les tutelles, concernant la poursuite des activités scientifiques du LLB au-delà de 2019, et veillera notamment au parcours des personnels IT CNRS du laboratoire.

Destinataires :

M. Alain Fuchs, Président du CNRS

M. Daniel Verwaerde, Administrateur général du CEA

M. Alain Schuhl, Directeur de l'institut de Physique du CNRS

Mme Amina Taleb, Directrice adjointe scientifique de l'institut de Physique du CNRS

MOTION
Session de printemps 2015

Section n°11

Objet : Motion sur l'avenir des sources de neutrons en France

La section 11 du Comité National exprime sa forte inquiétude quant à l'accès de la communauté scientifique aux techniques de diffusion neutronique après la confirmation par le CNRS et le CEA de l'arrêt anticipé, fin 2019, du réacteur ORPHEE alimentant le Laboratoire Léon Brillouin en neutrons.

Cette décision préfigure une baisse majeure de la capacité neutronique à moyen terme en France, qui deviendra dramatique après l'arrêt prévisible de l'ILL. Si rien n'est entrepris en effet, les moyens expérimentaux en neutronique accessibles aux chercheurs français seront réduits à moins de 10 % des possibilités actuelles d'ici une dizaine d'années, en dépit du démarrage de l'ESS, et alors que les autres nations européennes leaders en neutronique se sont dotées d'un plan à l'horizon 2030 garantissant des moyens expérimentaux stables, voire croissants.

La section 11 rappelle l'importance primordiale de l'utilisation des neutrons et son impact sur un grand nombre de domaines scientifiques et techniques. La section 11 appelle donc la direction du CNRS et du CEA à construire un projet à long terme garantissant l'avenir de la neutronique en France.

Motion adoptée le 1^{er} juillet 2015 à l'unanimité.

Signataire :
Président de la section
Henri Cramail

Destinataires :

- M. Alain FUCHS, Président du CNRS.
- M. Philippe BAPTISTE, Directeur général délégué à la science, CNRS.
- M. Bruno CHAUDRET, Président du Conseil scientifique du CNRS.

Motion

Sur l'accès à la diffusion neutronique

La fermeture en 2019 du réacteur Orphée, source de neutrons du Laboratoire Léon Brillouin (LLB, UMR 12 CEA/CNRS), semble prématurée à la section 15 du Comité National de la Recherche Scientifique. En effet, non seulement la place de la communauté des neutroniciens dans la résolution des enjeux sociétaux et la compétition internationale à partir de la neutronique est du meilleur niveau mondial, mais en plus l'existence permanente d'une source nationale s'avère indispensable à la formation des chercheurs et à l'accès aux infrastructures (de neutrons) internationales telles que la future ESS.

La section 15 attire l'attention sur les risques que feront encourir des décisions prises sans consultation de la communauté scientifique, en particulier sur le risque de disparition des compétences des chercheurs spécialistes et utilisateurs de la neutronique, qui conduira à l'extinction pure et simple de cette communauté dans la compétition internationale.

La recherche fondamentale liée aux neutrons est incontournable pour apporter des réponses aux grands défis sociétaux, dans des thématiques aussi variées que les batteries, les piles à combustibles, les nanomatériaux... et donc dans des domaines d'application aussi divers que les technologies de l'information, l'énergie renouvelable, la santé ... Bien évidemment le manque de participation française à ces recherches d'importance capitale aurait un impact direct et négatif sur l'économie nationale.

La réputation scientifique du LLB n'est plus à démontrer ; ses trois groupes « magnétisme et supraconductivité », « matériaux et nanosciences » et « matière molle » sont chacun au meilleur niveau d'activité sur la scène internationale (avec 175 publications par an en moyenne dans les revues scientifiques internationales les plus cotées).

Pour garder son leadership scientifique lié aux neutrons, l'Europe s'est lancée dans un projet de source à spallation (ESS) dans lequel la France s'est engagée, reconnaissant de facto l'enjeu stratégique des neutrons pour résoudre les grands défis de société et trouver des réponses aux grandes questions fondamentales de l'humanité. Par conséquent, le LLB a été désigné comme acteur de premier plan pour gérer la contribution française : étude, construction et mise en place d'instrumentation à l'ESS, mission définie dans CAP 2017. Dans ce cadre, le LLB représente les laboratoires français et leurs intérêts, tout en établissant des collaborations avec des groupes d'experts européens. Cette décision éclairée offre une nouvelle orientation au LLB avec des perspectives intéressantes, en particulier à long terme, tout en reconnaissant implicitement l'expertise et le savoir-faire du LLB.

L'inquiétude actuelle, à l'origine de cette motion, est l'annonce de la fermeture d'ORPHÉE avant 2020. En effet, le maintien de ce réacteur en parfait état de marche jusqu'en 2025 est absolument nécessaire pour donner à la communauté française les moyens d'être un acteur de rang mondial dans la recherche scientifique liée à la neutronique, en assurant le biseau avec le démarrage de l'ESS. Compte-tenu de la tâche confiée au LLB d'assurer le partenariat français pour l'exploitation scientifique de la future ESS, il est clair que des efforts importants doivent être consentis pour maintenir le niveau d'excellence, aussi bien en ce qui concerne la source que les personnels.

Motion

Sur l'accès à la diffusion neutronique

En l'absence de source nationale, la communauté française perdrait en quelques années son rang dans la compétition internationale. Les communautés scientifiques des pays voisins (Allemagne, Angleterre, Suisse, Hongrie, République Tchèque) ont toutes leur propre source nationale pour continuer à y mener une science de niveau mais aussi pour préparer l'ESS. Vues la diversité, la taille et la productivité de la communauté française, il est inconcevable de perdre ORPHÉE. En effet, 60% des expériences neutroniques françaises sont réalisées au LLB, 30% à ILL et 10% à l'étranger. Dans le cas d'un arrêt prématuré de la source nationale, la communauté française serait réduite à une peau de chagrin au moment où l'ESS deviendrait complètement opérationnelle. De plus, une partie essentielle de la formation des utilisateurs français -en particulier des jeunes- est assurée par le LLB depuis de nombreuses années (dans le cadre d'écoles, de formations, de travaux pratiques et dirigés, organisés en partenariats avec des universités, grandes écoles et programmes européens). La source nationale permet en outre d'accroître les chances de succès pour l'obtention de temps de faisceau sur la source européenne (training ou expériences préliminaires). En cas de fermeture d'ORPHÉE, le retour sur investissement français à l'ESS pourrait alors être réduit à néant du fait d'une communauté scientifique en voie de disparition.

Conscients des enjeux sociétaux actuels conduisant à financer la recherche, recherche fondamentale incluse, la fermeture prématurée d'ORPHÉE (à court ou moyen terme) constitue de surcroît une aberration économique. Il s'agit d'un réacteur nucléaire moderne et en excellent état, ne justifiant nullement sa fermeture dans un avenir proche. Une telle opération reste économiquement contestable, le coût du démantèlement s'avérant plus élevé que celui de fonctionnement, notoirement faible pour ORPHÉE. Enfin, elle n'exclurait pas la nécessité de construire une autre source nationale.

Ces considérations conduisent la section 15 du Comité national à demander le maintien d'ORPHÉE, pleinement opérationnel (avec un maximum de jours), jusqu'en 2025. Il est aussi recommandé de développer une nouvelle stratégie pour le développement d'une source de neutrons nationale alternative garantissant une recherche de niveau international en France et, à plus long terme, une utilisation compétitive de l'ESS.

Il serait dommage que la France ait perdu ses forces vives dans la recherche scientifique utilisant les neutrons, au moment où la meilleure source au monde deviendra accessible.

Philippe THOMAS
**Président par intérim de la
section 15**

Motion adoptée le 24/07/2015 à l'unanimité des votants (18)

Motion

Sur l'accès à la diffusion neutronique

Destinataires :

- M. Alain FUCHS, Président du CNRS.
- M. Philippe BAPTISTE, Directeur général délégué à la science, CNRS.
- M. Philippe BUTTGEN, Président de la CPCN.
- M. Bruno CHAUDRET, Président du Conseil scientifique du CNRS.
- M. Alain SCHUHL, Président de l'Institut de Physique du CNRS (INP).
- M. Dominique MASSIOT, Directeur de l'Institut de Chimie du CNRS (INC).
- Mme Stéphanie THIÉBAULT, Directrice de l'Institut Ecologie et Environnement du CNRS (INEE).
- Mme Catherine JESSUS, Directrice de l'institut des sciences biologiques du CNRS (INSB).
- Mme Frédérique BASSINO, Porte-parole de la Coordination des responsables des instances du Comité national (C3N).
- Mme Dominique FAUDOT, Présidente de la Commission permanente du Conseil National des Universités.
- M. Daniel VERWAERDE, Administrateur général du CEA.
- M. Gabriel CHARDIN, Président du comité des Très grandes infrastructures de recherche (TGIR) du CNRS.
- M. Yves BRECHET, Haut-commissaire à l'énergie atomique.
- M. Gabriele FIONI, Directeur des sciences de la matière du CEA.

**Lettre de l'Association Française de Cristallographie
2015**



Limoges, le 4 juillet 2015

C'est avec une grande inquiétude que l'AFC a pris connaissance des évolutions imaginées à court terme pour les sources de neutrons localisées sur le territoire national. L'arrêt du réacteur Orphée programmé pour la fin de l'année 2019, les incertitudes sur le devenir de l'ILL et le peu d'engagement financier de la France dans la source à spallation européenne (ESS) nous laisse perplexe et inquiet.

L'existence sur notre territoire d'une part de la source nationale Orphée et d'autre part du grand instrument européen ILL a permis le développement au cours des dernières décennies en France d'une communauté scientifique au plus haut niveau international dans le domaine de la neutronique. Dans le cadre de la mise en place de l'ESS, il serait déraisonnable de ne pas maintenir et développer cette communauté. L'investissement dans la culture scientifique de neutronique doit être à la hauteur de l'investissement financier, trop modeste à notre avis mais néanmoins significatif, dans cette future structure européenne.

L'Association Française de Cristallographie anime une communauté scientifique très largement pluridisciplinaire qui rassemble biologistes, chimistes, physiciens et spécialistes de science de la Terre. En tant que science transversale, la cristallographie traite d'un grand nombre des questions sociétales actuelles où la connaissance à l'échelle atomique ou mésoscopique de l'état de la matière condensée est souvent une nécessité. La cristallographie est concernée par certains développements théoriques mais c'est pour une très large part une science qui se nourrit de mesures expérimentales très étroitement liées aux développements de méthodes basées en particulier sur l'interaction rayonnement – matière. Les cristallographes réalisent ainsi des mesures de diffusion, élastique ou inélastique, des rayons X, des neutrons ou encore des électrons. Naturellement, ces différents rayonnements interagissent avec la matière de façon différente et c'est très souvent la complémentarité des mesures qui permet de comprendre in-fine l'organisation interne de la matière.

Qu'il s'agisse de composés moléculaires ou de matériaux, la localisation des éléments légers ne peut souvent être appréhendée qu'à partir de mesures de diffraction des neutrons. Naturellement la diffusion ou la diffraction des neutrons sont les clés de la compréhension de l'ordre magnétique ou encore nécessaire à l'étude des matériaux supraconducteurs. Souvent les propriétés recherchées sont, pour un matériau donné, plurielles. Comment accéder au couplage multiferroïque sans mesure à l'aide de neutrons ? Alors que les chimistes du solide imaginent des composés et des architectures cristallines d'inter-croissance de plus en plus sophistiquées, comment imaginer de se passer des neutrons pour la compréhension fine de la relation entre ces structures et leurs propriétés.

Devant cette situation préoccupante, l'AFC a décidé de consacrer, lors de son prochain congrès en juillet 2016, une session plénière à la neutronique ainsi qu'une table ronde axée sur le devenir de l'implication française dans ces instruments. D'une manière plus globale nous souhaitons que notre association soit en collaboration avec d'autre et en tant que représentante d'une communauté d'utilisateurs des neutrons, associée à la réflexion sur le devenir des sources de neutrons. Il est indispensable que la France reste à la hauteur des grandes nations européennes qui disposent d'une source nationale. Nous pensons qu'une réflexion globale sur la construction d'une source à spallation nationale ou binationale localisée sur notre territoire doit être engagée.

Prof. René Guinebretière
Président de l'Association Française de Cristallographie

Lettre de la Fédération Française des Matériaux – 2015

<http://www.ffmateriaux.org>





Fédération Française des Matériaux

Institut Néel du CNRS
25 rue des Martyrs
BP166 x
38042 GRENOBLE Cedex 9
Tel : (0)4 76 88 11 46
Fax (0)4 76 88 10 38
olivier.isnard@neel.cnrs.fr
www.ffmateriaux.org

N/Réf. : OI/4/2015

24 Juillet 2015

Cher Monsieur le Directeur SCHUHL, Cher Alain,

Les grandes nations européennes telles que l'Allemagne, la Suisse ou le Royaume-Uni ont une ou plusieurs sources de neutrons nationales. Ainsi, le Royaume-Uni a récemment développé une seconde cible pour sa source à spallation ISIS ; l'Allemagne vient ces dernières années de construire un réacteur neuf tout en étant fortement impliquée à l'ILL comme à l'ESS. D'autres nations de taille plus modeste (République Tchèque, Hongrie...) ont aussi leur propre source nationale. La disparition de la seule source française serait donc une catastrophe car Orphée et le Laboratoire Léon Brillouin jouent un rôle crucial pour la communauté nationale. Au-delà de l'importance d'une source nationale pour les activités sensibles liées à l'industrie française, le couple Orphée/Laboratoire Léon Brillouin est indispensable tant en terme de formation des scientifiques et ingénieurs aux techniques de pointe de la neutronique qu'en contribuant au développement des techniques instrumentales.

La disparition de la seule source nationale de neutrons serait une perte inestimable pour la communauté des matériaux qui est au carrefour de la chimie, de la physique, de la mécanique et de l'ingénierie. Lors de notre dernière conférence MATERIAUX 2014 (<http://www.ffmateriaux.org/mat2014/indexMat2014.html>) qui a réuni, en novembre 2014, plus de 1800 scientifiques, industriels et ingénieurs, une session spécifique a été dédiée aux grands instruments. Ce colloque suscita un très grand intérêt et fut parmi les plus dynamiques. La diffusion neutronique française y prit toute sa place et contribua à la forte attractivité de cette conférence. Au-delà de ce colloque spécifique aux grands instruments, de nombreuses études neutroniques furent aussi présentées dans les 19 autres colloques (Matériaux pour l'énergie, Mécanique, Matériaux fonctionnels...) démontrant, s'il en était besoin, l'importance de la sonde neutronique pour progresser dans la connaissance et la maîtrise des matériaux.

La communauté française des matériaux ne peut qu'être alarmée de l'incertitude actuelle pesant sur la source de neutrons Orphée à Saclay, que la communauté utilise largement via le Laboratoire Léon Brillouin.

Vous comprendrez donc, qu'étant successivement Président de la Fédération Française des Matériaux <http://www.ffmateriaux.org/> qui regroupe actuellement 28 associations scientifiques et techniques concernées par les matériaux, nous vous faisons part de notre inquiétude pour la source nationale de neutrons Orphée. Il paraît indispensable de ne pas fermer l'unique source tant qu'aucune autre source nationale de remplacement n'est disponible pour cette communauté.

Nous vous remercions de l'attention que vous voudrez bien porter à ce sujet, touchant une très large communauté scientifique en France et à l'étranger.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, positioned to the right of the main text block.

Olivier ISNARD

Président de la Fédération Française des Matériaux
Professeur à l'Université de Grenoble
Université Grenoble Alpes
Institut Néel, CNRS

Jérôme Crépin

Président de la FFM de 2010 à 2014
Directeur de Recherche
Mines Paristech / Centre des Matériaux
Ecole des Mines de Paris

**Lettre de l' « Asia-Oceania Neutron Scattering Association »
2015**



AONSA OFFICE
Neutron Science Section,
Materials & Life Science Facility Division,
J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency,
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, JAPAN, 319-1195
TEL:+81-29-284-3752 FAX:+81-29-284-3889

11 May 2015

To whom it may concern:

I am writing on behalf of the Asia-Oceania Neutron Scattering Association (AONSA) to express our concern at the prospect that the Laboratoire Léon Brillouin may be shut down prematurely, perhaps even as early as 2017. LLB is a highly respected and world-leading research centre based around the use of neutron scattering methods for research activities across the physical sciences.

The Asia-Oceania region is of a comparable size and diversity to Europe, thus we are acutely aware of the key role played by regional sources such as LLB. We are still experiencing the effects of the unexpected forced shutdown of the JRR-3 reactor following the Great East Japan Earthquake in 2011, through significantly increased demand and consequent oversubscription of all other medium-flux neutron sources in the region.

The current flagship facility in our region (J-PARC) does not have nearly enough capacity to accommodate all worthwhile neutron scattering experiments. Nor should it attempt to do so, given that most experiments do not actually require the highest possible flux. The ESS in Europe will have even more difficulty absorbing demand, due to the European neutron scattering community being larger than our own and also to the design of the ESS itself, which emphasises new applications in biological sciences (in particular) over the core neutron techniques in which LLB excels. Moreover, with the ESS not expected to be fully operational until 2025, an early shutdown of LLB would have disastrous effects on French participation in that project by denying the critical new generation of PhD students and early career researchers the opportunity to acquire the necessary expertise to make use of it.

We sincerely hope that the LLB continues to receive support at least until the originally anticipated deadline of 2020, and ideally beyond that to maintain continuity in the French neutron scattering community into the ESS era.

Yours faithfully,

The AONSA Executive Committee

Wen-Hsien Li (President)

Sung-Min Choi (Vice-President)

Chris Ling (Secretary)

Dongfeng Chen (Treasurer)

Hideki Seto (Public Relations Officer)

Yasuhiko Fujii (Past President)

PLAQUETTE « Neutrons for science and technology »
ENSA - 2015



Neutrons for science and technology



Introduction	4
Neutrons: an essential tool for science and technology	6
Europe leads neutron science	8
Neutron scattering centres in Europe	10
Addressing society's grand challenges	12
Energy	14
Industry & Materials	16
Health & Life	18
Environment	20
Arts & Cultural Heritage	22
Further Information	24
ENSA	25
Imprint	27

Editorial

The European Neutron User Community, both academic and industrial, is large, accomplished and self-renewing, producing 50% of neutron scattering publications worldwide. Users are scientists from disciplines like physics, chemistry, biology, geology, medicine, archaeology, material science and engineering. The science they develop and the questions addressed span all societal challenges, promoting innovation and curiosity thanks to the extraordinary properties of the neutron.

These researchers have access to a vibrant ecosystem of world leading facilities, national and international and small, medium or large in size. Performance and value-for-money is achieved by supporting the facilities that co-operatively allow each to exploit their particular strengths, in particular via European Union programs. Scientists are currently preparing themselves to exploit the most intense neutron source in the world, the European Spallation Source, ESS, that started construction last year. However, the scientific success and return-on-investment of ESS is seriously threatened by an imminent reduction of 25 to 50% in capacity in the provision of neutrons in Europe in the next 15 years. It is therefore timely for the European Neutron Scattering Association to highlight the power of neutrons in the context of the impending threats and opportunities.

This brochure highlights some typical work from the academic and industrial user communities that has been chosen to illustrate the scope and potential of neutrons - it is far from being exhaustive. Dedicated websites of user associations, European projects and facilities can be consulted for more detailed information.



Christiane Alba-Simionesco
Chair of the European Neutron Scattering Association

Introduction

A bit of history

The neutron was discovered in 1932 by Chadwick (Nobel Prize). The use of neutrons to probe and understand matter and assess scientific theories was developed through the second half of the 20th century and neutrons have become a major analytical tool in the scientist's toolbox. Neutrons underpin spectacular advances in materials that are at the heart of new technologies in modern society.

The strength of neutron scattering resides in its simplicity

Neutrons do not possess an electric charge, they are neutral. They behave either as particles, waves or as microscopic magnetic dipoles. Using neutron beams with wavelengths corresponding to typical atomic distances (around 0.2 nm), they have energies equivalent to the temperature of the sample and are ideally suited to observe structures of materials and atomic movements. With their inherent magnet moment, they probe simultaneously the structure and dynamics of magnetism. The use of neutrons becomes more and more multi- and inter-disciplinary with complementary probes like the one provided by synchrotrons, NMR and numerical simulations. The diversity of the communities that use neutrons makes the centralization of scientific priorities impossible in the way that CERN does for the particle-physics community.

Facilities and the European Community

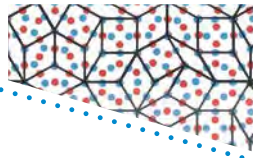
For neutrons there is no 'local laboratory'. You cannot prepare or carry out initial experiments at your home laboratory as can be done for photon-based techniques (X-rays, NMR, IR, Raman, etc). Training and expertise building in neutron techniques is gained at central facilities. Neutron users are totally dependent on access to the facilities for both capacity (i.e. availability of time to carry out research or training) as well as capability (i.e. availability of equipment with particular technical performance). The size of the user community is naturally limited by the number of facilities, the number of instruments and the operating schedules.

A high level of integration between facilities and the user community has been achieved through a series of European-funded projects, supporting dissemination, training and outreach as well as initiatives to harmonise the access to and use of facilities. In addition, a major, vital component of these projects has been trans-national access (TNA) which enables beam-time use for scientists outside their home nations and is of particular benefit to the majority of countries without neutron sources. An open access modus operandi of the facilities has thus emerged for all European scientists.

The future – threats and opportunities

Today Big Science serves materials science, life science, information science, and the overarching aim of promoting innovation for economic growth. Currently, small, medium and large scale neutron facilities collectively provide the experimental resources to underpin the work performed by researchers and engineers. Accordingly, the publication record is impressive – 1900 peer-reviewed articles per year. In the mid 2020's the European landscape will be completed by the most powerful neutron source in the world, the European Spallation Source, ESS in Sweden.

At a European Union level, a new project, SINE2020, has been funded for four years starting October 2015. One of two major goals of SINE2020 is to prepare for first neutrons at ESS, through its integration in the European ecosystem of facilities and the development of techniques specific to unprecedentedly high fluxes. A focus on data and industry users is designed to increase the innovation potential of neutrons – the second major goal of SINE2020. Europe, today, is in an apparently enviable position and the future for researchers should therefore be bright.



However first, discontinuous funding of the EU threatens the model of open access to facilities and mobility of scientists within Europe. It is crucial to maintain open access to sources for all European scientists in order to enable them to address the grand challenges of our society.

Secondly, several national facilities will close by 2020, long before the full operation of ESS: the overall capacity for neutrons in Europe will be greatly reduced. ESS will only cover at best 20% of all the needs, i.e., focussing on advanced experimental capabilities, vital training resources, and important technical developments. Consequently, design studies for new, cost effective and energy efficient, accelerator-based sources must be initiated now in order to rejuvenate the ecosystem of European facilities by 2025. In this context, European scientists, their user associations and the facilities will combine forces to submit a new European proposal in 2016 that will focus on open access and address the future neutron landscape in Europe.



Neutrons: an essential tool for science and technology

Producing Neutron beams

Together with protons, neutrons form the nucleus of most atoms. Neutrons are therefore part of all the matter that surrounds us. To be used as a scientific probe and produce a beam they have to be released from the nucleus by a process called fission, as happens in a nuclear reactor using Uranium or by firing a high-energy beam of protons into a neutron-rich element such as lead or tungsten – a process called spallation.



Neutron scattering

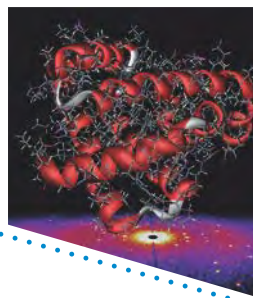
Neutrons as free particles have properties that make them particularly useful to look inside a wide variety of materials. In a neutron scattering experiment, a neutron beam passes through the sample or technical component under investigation. By observing how the direction or velocity of the neutron changes, researchers learn about the structure, composition or dynamics of the sample on an atomic scale. Having this basic information you can understand the physical, chemical or biological properties of a material.

The uniqueness of neutrons for research

Neutrons do not possess any electric charge, they are neutral. They behave either as particles, waves or as microscopic magnetic dipoles. Using neutron beams with wavelength corresponding to typical atomic distances (around 0.2 nm) they have energies equivalent to the temperature of the sample and are therefore ideally suited to observe atomic movements as well as to investigate atomic structures. By their inherent magnetic moment they probe at the same time the dynamic and structure of magnetism.

Looking into materials

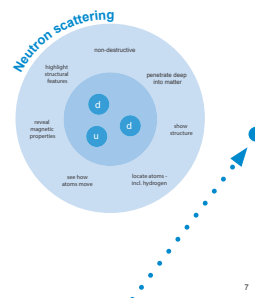
As neutral particles neutrons do not interact with the electrons of an atom, only with the nucleus. This enables them to penetrate material deeply and thus look into large technical objects. Furthermore neutrons can distinguish between different isotopes of the same chemical element. This leads to unique contrast for different materials in complex environments. For example, hydrogen containing rubber gaskets are visible even inside a big car engine or the exchange of hydrogen by the chemical equivalent deuterium can be used to label different sections in very complex biological macromolecules.



Investigating Neutrons

Bound to the nucleus, the neutron lives forever. As a free particle, however, it decays within about 15 min to a proton, an electron and an anti-neutrino. By investigating this decay in detail, especially the life time of the neutron, fundamental interactions can be studied which are relevant to the origin of our universe.

Besides the experimental activities mentioned above, neutrons are also used for (radio) isotope provision, irradiation (e.g. silicon), activation analysis and medicine.



Europe leads neutron science

Broad user base

A major challenge for neutron-based techniques is that neutron beams are only available in central research facilities. An ecosystem of sources sustains the vibrant, European neutron scattering community – the largest in the world.

Even though counting neutron users across Europe is a difficult task, today nearly 8000 researchers who use neutron centres for their scientific work could be identified. They rely on the open access and user programs at nine neutron sources across Europe and additionally eight smaller sources for specific applications. To a smaller extent neutron sources from abroad in America, Japan, Australia and Russia are used by European researchers.



8

Increasing demand of beam time

At the major neutron centres in Europe the demand for access in number of beam days exceeds the available amount by a factor of two. At all European centres substantial efforts are made in order to increase the performance and productivity of the neutron scattering instruments in order to react on the increasing demand of neutron research. European neutron centres currently provide a total of 32.000 beam days per year of open access to the scientific community.

Diversity strengthens success

For the European Research Area in the field of neutron scattering, the diversity of the neutron sources is crucial. 1900 peer reviewed publications each year underline the leading role of European scientists in the area of neutron research. This strength will be maintained by the new flagship neutron source ESS in Sweden. It will open up neutron science to new fields, which require even higher neutron fluxes and enable experiments that are not feasible today.

¹Data based on users registered at neutron sources (Pandata.eu)
²NMI3: Integrated Infrastructure Initiative of Neutron Scattering and Muon Spectroscopy

High mobility of researchers

Neutron sources are big research infrastructures. Scientists have to travel to find the best facility and instrument to address their particular scientific questions. Mobility and provision of access to sources in foreign countries is supported by infrastructure programs of the European Union like NMI3². During the last years around 600 scientists per year from all of the 27 European countries have been supported.

Sustainable future

In order to exploit the full potential of neutron methods, specialised knowledge and training is mandatory. In collaboration with a number of universities nearly all neutron centres offer training courses and schools on the theory of neutron scattering, as well as hands on training at the facilities. European funding in the framework of the Integrated Infrastructure Initiative, NMI3, has stimulated exchange and coherence between these schools, grouping them in the NaMES programme (Neutron and Muon European Schools) of NMI3. As MOOCs become part of modern education, NMI3 is supporting the development of e-learning courses, which will be crucial to spreading education and training for neutrons.

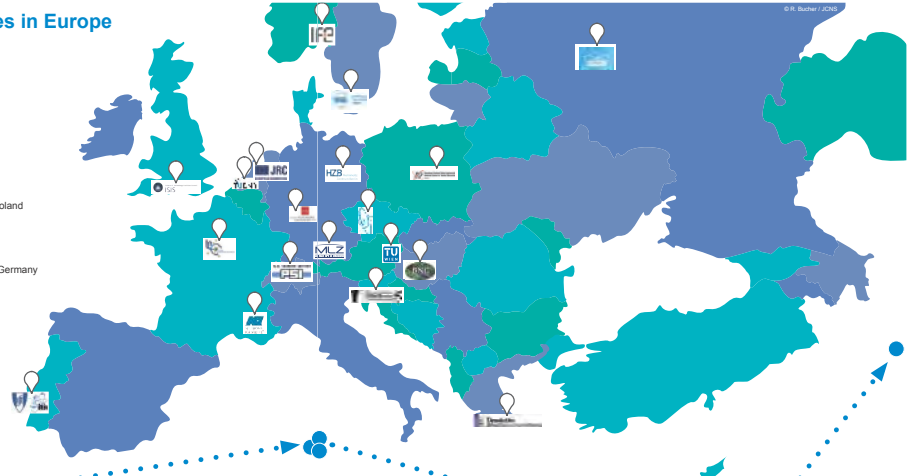
- 8000 users
- 19 neutron sources in Europe
- 32.000 instrument beam days per year
- 1900 publications each year
- Collaboration and Flow
- New users welcome
- Supporting Industry



9

Neutron scattering centres in Europe

- Budapest Neutron Centre (BNC), Hungary
- Demokritos, Greece
- European Spallation Source (ESS), Sweden
- Frank Laboratory of Neutron Physics, Russia
- Heinz-Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ), Germany
- Helmholtz-Zentrum Berlin, Germany
- Institute for Energy Technology, Norway
- Institut Laue-Langevin, France
- ISIS Pulsed Neutron Source, UK
- Joint Research Centre, Netherlands
- Laboratoire Léon Brillouin, France
- National Centre for Nuclear Research (MARIa), Poland
- Nuclear Physics Institute (NPI), Czech Republic
- Portuguese Research Reactor (RPI), Portugal
- Reactor Institute Delft – TU Delft, Netherlands
- SINQ – Paul Scherrer Institute, Switzerland
- TRIGA Facility, Johannes Gutenberg-Uni, Mainz, Germany
- TRIGA Mark II Reactor – TU Vienna, Austria
- TRIGA Reactor Infrastructure Centre, Slovenia



10

11

Addressing society's grand challenges

Neutron scattering provides unique information, essential to solve the grand challenges of our society. The technique is used by researchers from a range of scientific fields and impacts on the efficient use of energy, the environment, pharmaceuticals and health care, computers, heritage, and innovation.

This section is a sample of the significant impact of neutron scattering in our society. We focus on five of the many grand challenges neutrons are helping to move forward.

Energy
 Energy storage, transport, conversion all benefit from neutron research.
 The investigation of properties of new energy storage materials rely heavily on neutron scattering. Suitable storage materials are analysed in operando using neutrons, for instance for transportation.
 Neutron scattering can help improve lithium batteries.
 The development of superconductors for energy transport relies on information from neutron scattering.
 In photovoltaics and solar energy research, neutrons are used to study the performance of solar cells.
 More on page 14

Industry & Materials
 Countless materials are produced every day to make our life easier.
 Cars, planes, trains, turbines, cosmetics, laundry detergents, drugs, all are improved both in efficiency, quality and price thanks to information provided by neutron experiments.
 Furthermore, developing advanced materials that support new technologies depends on scientists' ability to manipulate their properties at the atomic level, and neutron science is a key to these efforts.
 Industrial innovation and competitiveness rely on fundamental knowledge provided by neutrons on the behaviour of molecules, or the determination of inner stresses to develop components with higher performance.
 More on page 16

Health & Life
 Research is fundamental to fight diseases. Neutron scattering provides vital information that cannot be acquired using any other technique.
 Neutrons provide structural information of relevance to degenerative diseases such as Alzheimer's.
 Biological function and enzymatic action benefit from critical detail provided by neutrons on hydrogen bonding and hydration.
 Drug delivery benefits from neutron scattering studies which may result in new therapeutic approaches in the future.
 Fast neutrons can be used for the treatment of malignant tumours.
 Neutrons are also used for the production of radionuclides that are used in medical diagnosis and radiotherapy.
 More on page 18

Environment
 Thanks to their tremendous capabilities for analysis, neutrons contribute to the development of clean technologies.
 Neutron scattering helps scientists to fight pollution and develop eco-friendly processes that release fewer contaminants into the environment. Neutrons can provide information about rare elements and serve as a way to detect contaminants. Neutron techniques can help define the intrinsic nature of pollutants and its relationship with the substance they are polluting.
 Neutrons give insight into the role of clouds in global warming and play a role in the battle to curb carbon emissions.
 More on page 20

Arts & Cultural Heritage
 Neutrons are an invaluable tool to analyse precious archaeological objects: they are non-destructive and can penetrate deep into cultural artefacts or beneath the surface of paintings, to reveal structures at the microscopic scale, chemical composition or provide 3D images of the inner parts of the artefacts.
 For heritage science purposes, whole artefacts can be placed in the neutron beam and analysed at room conditions, without sample preparation. Analysis can also be done under vacuum or other conditions, such as high or low temperature. The measurements are made in real time, which can be useful for testing conservation materials and methods.
 More on page 22

12

13

Energy

New form of ice could help explore alternatives for energy production and storage

The discovery of a new form of ice could help understand Earth's geology, potentially helping to unlock new solutions in the production, transportation and storage of energy. Ice XVI, the least dense of all known forms of ice, has a highly symmetric cage-like structure that can trap gaseous molecules to form compounds known as clathrates or gas hydrates. Such clathrates are now known to store enormous quantities of methane and other gases in the permafrost as well as at the bottom of the oceans. To create the sample of ice XVI, the researchers constructed a clathrate filled with molecules of neon gas, which they then removed by careful pumping at low temperatures. Images obtained by neutron diffraction allowed them to confirm when the clathrate was fully empty, and provided a complete picture of the resulting structure. Such research could help ease the flow of gas and oil through pipelines in low temperature environments. These conditions can lead to the production of gas hydrates within the pipes, which in turn form substantial blockages, the prevention of which costs industry approximately \$500 million a year worldwide.

User: W. F. Kuhs, Uni. Göttingen, Germany



14

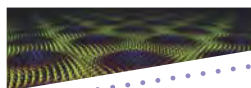
Energy consumption by computers could be drastically reduced by using skyrmions

A team of physicists from the Technical University of Munich and the University of Cologne discovered a physical phenomenon that could make computers use 100,000 times less current than existing technologies, and the number of atoms needed for a data bit could be significantly reduced. Using neutrons, they initially discovered an entirely new magnetic structure in a crystal of manganese silicon – a grid of magnetic vortices, so-called skyrmions. They were later able to prove that even the tiniest of currents is sufficient to move the magnetic vortices. Now the physicists developed a method by which skyrmions can be moved and measured in a purely electronic manner. At present a current is used in the read/write head of a hard drive to generate a magnetic field in order to magnetize a spot on the hard drive and thus write a data bit. Skyrmions, in contrast, can be moved directly and with very small currents. These findings have the potential to make saving data and processing it more compact and energy-efficient.

User: C. Pfleiderer, TUM, Germany

We can take the crystals generated in our laboratory and use neutrons to measure the magnetic structure, its dynamics and many other properties.

C. Pfleiderer, TUM, Germany



A promising alternative for natural gas storage and transportation

Methane hydrates are the Earth's largest natural gas reserve, but they are formed under very specific physical, chemical and geological conditions that can only be found in the bottom of the oceans or in permafrost. Now for the first time, researchers developed a technology to prepare artificial methane hydrates in just a few minutes. The team took advantage of the so-called "confinement" effect to artificially synthesise methane hydrates inside activated coal's pores. They then conducted inelastic neutron scattering (INS) experiments as it is the perfect technique to observe the self-dynamics of molecular hydrogen. Complementary synchrotron experiments were also conducted. While in nature the process to form methane hydrates takes a long time, the team made it in just a few minutes, thus making its technological applicability much easier. These results open a new pathway into the use of e.g. natural gas as fuel for transport, or for long-distance transport of natural gas at temperatures close to room temperature.

User: J. Silvestre-Albero, Uni. Alicante, Spain

These studies are the first evidence that it is possible to form methane hydrates in a smoother and much faster way than it happens in nature.

J. Silvestre-Albero, Uni. Alicante, Spain



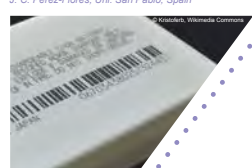
Investigating a new material for rechargeable lithium batteries

A group of scientists discovered an interesting material that can be used for rechargeable lithium batteries. Analysis of data from neutron powder diffraction and synchrotron, combined with the IR spectroscopy provided a precise determination of the crystal structure of the protonated hexatitanate $H_2Ti_6O_{13}$. The reversible capacity of this material is well maintained upon cycling, even at increasing discharge rates. Furthermore, this reversible capacity is similar to that obtained for other titanium oxides already proposed as anode material for lithium rechargeable batteries. Once its electrochemical performance is optimised $H_2Ti_6O_{13}$ can thus be used for batteries. The results obtained represent a significant step forward, furthering our understanding of the electrochemical behaviour of these materials and confirming their potential in the future development of rechargeable lithium batteries.

User: J. C. Pérez-Flores, Uni. San Pablo CEU, Spain

Neutron diffraction is indispensable for deeper investigations, as both Li and H atoms can be readily located within the structure using subtle intensity changes in the neutron diffraction patterns.

J. C. Pérez-Flores, Uni. San Pablo, Spain



15

Industry & Materials

New materials for gas turbines

For the last 50 years, gas turbines developed to become more efficient. It is estimated that future turbines will function at temperatures about 200°C higher than today, which the materials currently used cannot withstand. Researchers investigated the structure of cobalt-rhenium-based alloys and their behaviour at high temperatures. By adding rhenium (Re) to cobalt (Co) alloys it is possible to increase their melting temperature. The aim is to develop alloys whose base metal temperatures can reach 1200°C. Neutron techniques are ideal tools for studying structural changes in materials in situ at high temperatures. Complementary synchrotron experiments were also conducted. The group observed that a fine dispersion of TaC precipitates strengthens some Co-Re alloys. These precipitates remain generally stable when exposed to high temperatures. Although further research is still necessary before a technical alloy becomes available for structural applications in turbines, the future looks promising!

User: D. Mukherji, TU Braunschweig, Germany



16

Fractionalisation of magnetic particles in 2 dimensions

The collective way in which electrons behave leads to the familiar electrical and magnetic properties of materials. Isolated electrons are fundamental, indivisible particles. Electrons in an interacting system, on the other hand, become quasi-particles, which in certain circumstances break up into new types of quasi-particles. The most extreme form of quasi-particle fractionalisation is observed in 1D conductors, where the magnetic and electrical properties of the electron quasi-particles separate completely. While it is known that fractionalisation can also occur in higher dimensions, such phenomena had never been observed. Now for the first time scientists observed fractionalisation in a 2D quantum magnet. Their study combined polarized neutron scattering techniques with a new theoretical framework. This allowed them to see that the magnetic quasi-particles split into two halves that move independently of one another, at specific energies and along specific directions in the material. This work marks a new level of understanding of one of the most fundamental models in physics.

Users: B.D. Piazza, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland and M. Mourigal, EPFL, Johns Hopkins Uni., USA



Foam lasting forever – or that collapse at will!

New soap foam, produced by "green chemistry" from a natural substance, is stable for several months even at 60°C. Moreover the foam can be destroyed quickly by a simple change of temperature. Foams act like a detergent thanks to specific surface properties of their molecules, so-called surfactants. By using neutron scattering, researchers observed and depicted the behaviour of a peculiar surfactant molecule, the 12-hydroxy stearic fatty acid extracted from castor oil. After adding a salt to make it soluble this surfactant has very advantageous properties: even in small amounts, it produces abundant foam which is stable for more than 6 months (usual it lasts only a few hours). The team showed that this process is reversible. Increasing the temperature of foam decreases its volume, and decreasing the temperature back to below 60°C stabilizes the foam again. The formation of stable foam with such a simple surfactant is a premiere. Thanks to their properties, foams have many applications in areas such as cleaning, decontamination, cosmetics, fight against pollution and fires, food, or extraction of natural resources.

User: A-L Fameau, L'Oréal Group, France



This green chemistry, as derived from a bio-surfactant, opens up interesting prospects for foams widely used in industry. It would be possible to produce such detergents or shampoos which can control the amount of foam by simple effect of temperature and thus facilitate their evacuation. Neutron scattering was essential for us to depict the mechanisms of stabilization of foams.

A-L Fameau, L'Oréal Group, France



17

Health and Life

Neutrons make pregnancy tests more sensitive and cheaper

Scientists found how to make pregnancy tests more sensitive and cheaper. Thanks to neutron reflectometry (NR) experiments, they could investigate the interaction between antibody and antigens and the importance of a blocking protein, present in home pregnancy tests. NR is one of the few techniques that can accurately determine the surface coverage, density and thickness of adsorbed antibodies. The group used deuterated HSA which made it possible to better visualise how blocking proteins behaved. They observed that to achieve the required conditions for an effective pregnancy test, it is necessary to control the structural orientations of the antibodies immobilised. They also found that it is not worth to increase the quantity of antibodies above a certain level for an optimal performance. Thus, neutron studies can help not only to control the quality but also reduce cost considerably, as antibodies are very expensive.

User: J.R. Lu, University of Manchester, UK

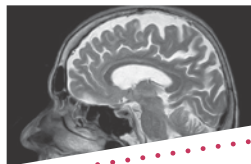


18

Towards a new tumour-specific contrast agent for MRI applications

Neutrons help in the search of diagnostic and therapeutic devices for cancer. Scientists investigated supramolecular aggregates formed by peptides as well as a new set of Gadolinium-based contrast agents for Magnetic Resonance Imaging (MRI), namely a non-invasive medical diagnostic procedure capable of giving high-quality images of the inside of the human body. Supramolecular aggregates allow cancer detection at early stages, through the recognition by the peptide that leads to a selective accumulation in some cancer tissues. Small-angle neutron scattering (SANS) and other techniques were used to characterise the devices. Results showed the ability of the aggregates to recognise specific cells that over-express cholecystokinin receptors and behave differently depending on the pH. These receptors are overexpressed in certain human tumours. This scenario opens new opportunities for the development of diagnostic and/or therapeutic systems for the treatment of cancer pathologies.

User: L. Paduano, University of Naples Federico II, Italy



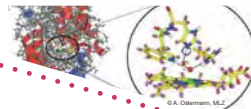
Neutron crystallography solves long-standing biological mystery

Researchers have solved a long-standing mystery in biology by identifying the structure of a vital enzyme intermediate. A family of enzymes, cytochrome c peroxidase (CCP), have a heme group in their active site with an iron atom, which becomes oxidised when a reacting heme is in an intermediate state called Compound I. One of the main, long-standing questions to unveil is whether the iron-bonded oxygen atom carries a hydrogen atom or not. Resolving this fundamental question has implications for understanding oxidative processes within living cells, which is critically important for drug development. They have used neutron protein crystallography, which is a unique technique to locate the positions of the hydrogen atoms. The answer turns out to be that the ferryl heme in Compound I is not protonated. But, unexpectedly, the results showed that one of the amino acid side chains on the molecule is doubly protonated, which raises questions of its own in terms of mechanisms for oxygen activation in heme enzymes.

Users: E. Raven and P. Moody, Uni. Leicester, UK

The ability to capture intermediates at cryogenic temperatures combined with the information available from neutron crystallography, means that we can finally see them.

P. Moody, Uni. Leicester, UK



Will we have stronger, enduring teeth? New material for tooth fillings is being investigated

Dental fillings are normally used to restore teeth, for instance after cavity formation. However the materials currently in use have a number of caveats. Scientists are testing glass ionomer as an alternative for dental fillings. They have the advantages of not requiring an adhesive as current fillings do, they release fluoride which makes teeth healthier, and have good biological properties. Furthermore their preparation requires no special equipment or illumination, which is a big advantage in remote areas without electricity. The team used neutron scattering to better see the hydrogen atoms in two different cements. X-ray experiments were also conducted. The results suggest that the strongest material that could be used is cement powder mixed with a polyacid. The liquid binds quickly to the cement, preventing free liquid to fill the pores. In fact glass ionomer cements could be stronger if we could control how the hydrogen atoms move within the material. By knowing this, the researchers can now infer on the material's durability and investigate further.

User: H. Børdalo, Uni. Copenhagen, Denmark



19

Environment

Healthy diet? Using neutrons to quantify selenium in cereal crops

Selenium (Se) is an essential micronutrient for human health, protecting, for example, against cardiovascular disease, asthma, male sterility and certain forms of cancer. Even though it is a common nutrient e.g. in cereals, it is lacking in the diet of at least 1 billion people around the globe. The few available data indicate that Portugal is one of the countries concerned. For this reason, a research project taking place in Portugal aims to assess the levels of Se in the country's cereals and soils. Samples were analysed in a slightly modified radiochemical neutron activation analysis (RNAA). This technique makes it possible to detect Se even when its concentration is very low. The results obtained give important insights into Se levels in Portuguese cereals, opening the way to future supplementation trials in the country, as already done in other countries.

User: M. C. Freitas, Inst. Tecnológico e Nuclear, Portugal



20

Where and how do plant roots take up water?

Have you ever eaten lupins? They are a common snack in Mediterranean countries. Scientists from the Georg August University of Göttingen in Germany have investigated where and how the roots of these plants take water from the soil. By using neutron radiography, they could trace the transport of deuterated water (D₂O) in the roots of the plants, which were grown in aluminium containers filled with sandy soil. The transport of water into the roots was then quantified using a convection-diffusion model of D₂O transport into roots. The results showed that water uptake was not uniform along the roots. The roots, mainly the lateral ones, took more water from the upper soil layers than from the lower ones. The function of the taproot (the plant main root) was to collect water from laterals and transport it to the shoot. According to the authors, lupin root architecture is well designed to take up water from deep soil layers.

User: M. Zarebanadkouki, Georg August Uni. Göttingen, Germany



From ash to eco-friendly solution for hazardous metals removal

The world's power plants produce about 600 million tonnes of coal ash every year that might damage the environment. A new method can turn those ashes into an eco-friendly solution. Ashes are chemically similar to volcanic precursors of natural zeolites, which are typical adsorbents in separation and refinery facilities. Through a simple, low-cost method scientists were successful to produce adsorbents from ash taken from a power plant. They modified the ash by hydrothermal treatment and ultrasonic activation in an alkaline medium. They conducted instrumental neutron activation analysis (INAA) experiments to characterise the materials. The results show that the new materials have enhanced properties with regards to the original ash and proved very efficient in removing hazardous metals from aqueous media. This method could be a cheaper alternative e.g. for nuclear waste treatment or soil remediation.

User: F. Noli, Aristotle University, Greece

The possibility to send samples to measure at the neutron sources give our students and new researchers the opportunity to complete the diploma and contribute to the research community.

Faini Noli, Aristotle University, Greece



The cork viewed from the inside

Cork is the natural material stripped from the outer bark of cork oak. It was one of the first materials put under the microscope. The first depiction dates back to the years 1650, when Robert Hooke drew the scheme of its very characteristic cellular organization, giving the term cell to the basic biological unit. It is still the most used stopper to seal wine bottles and to preserve wine during storage. Cork stoppers are sorted in different classes according to apparent defects, named 'lenticils', which can be related to the cork macroporosity. The more lenticils there are, the worst the cork quality is. Neutron imaging combined with digital photography can investigate the defects of cork stoppers from two classes. Comparing the two qualities of stoppers, photography analysis and neutron tomography permit to differentiate these classes: around 4.1% and 5.9% of defects for class 0 stoppers, and 6.7% and 7.5% for class 4 stoppers, respectively. The next step to this work will consist in bridging the gap between structure investigated by imaging and functional properties of cork.

User: Régis Gougeon, Pôle Bourgogne Vigne et Vin, France

The unprecedented results obtained on the inner structure of cork stoppers clearly highlight the major inputs of neutron techniques for a deeper understanding of the bio-chemical processes involved in food and wine science.

Régis Gougeon, Pôle Bourgogne Vigne et Vin, France

Arts & Cultural Heritage

Remediation tools for conservation of artworks

In the past, synthetic polymers have been improperly applied as protective coatings to painted surfaces. Instead of protecting the paintings, these substances promoted a series of complex degradation mechanisms. The removal of these polymer films is one of the top priorities in conservation science. In order to design efficient nanofluids for cleaning artworks, it is necessary to understand their ability to remove given polymer films by determining both their structure and dynamics. Small Angle Neutron Scattering (SANS) is particularly suited for characterising complex nanofluids. SANS measurements were performed to investigate how two different nanofluids interact with the polymer to detach it from artworks. The results enabled to define a model for the interaction. A deeper understanding of the nano-structure and the mechanism that lies behind the cleaning process is the key of a more conscious approach to new conservation challenges.

User: P. Baglioni, Uni. Florence, Italy



22

Neutron tomography of ancient lead artefacts

Ancient Roman lead ingots rescued from shipwrecks along the coast of Sicily in Italy were analysed by Neutron Tomography (NT). The artefacts date back to a period between the 3rd and 1st century BC. Neutron imaging is very well suited for investigation of samples of cultural heritage due to the high penetration depth of neutron radiation. Although the artefacts were heavily damaged the NT experiment showed, after a digital 3D reconstruction, the original mold marks and helped decipher hidden signs. The scientists could thus read the inscriptions on the ingots that feature name and surname of both the producer of the ingots as well as who they think is the mine owner from Carthago Nova in Spain, which dates back to the 1st century BC, when the Planius family (as the inscription suggests) was active in lead ingot trading.

User: F.L. Celso, Uni. Palermo, Italy

Neutron tomography seems to be the most successful method for non-destructive study of the inner structure of bulky archaeological lead samples.

F.L. Celso, Uni. Palermo, Italy



Egyptian statuettes of Osiris: production unveiled by neutrons and laser

The world's museums exhibit ancient artefacts whose creation not much is known about. In the search for non-invasive methods, scientists have combined neutron tomography, time of flight neutron diffraction, and laser induced plasma spectroscopy to analyse copper alloy figurines, provided by the Egyptian Museum of Florence. They represent Osiris, the god of the afterlife, the underworld and the dead, with arms and legs bound to the body by mummy bandages, and holding the traditional insignias of kingship. The team discovered that even though the figurines come from different areas in Egypt, they were all crafted with similar core materials, same alloy compositions, and with a similar method for preparation of the casting mould. The statuettes were constituted by a sandy aggregate in a clayey matrix completely altered by the high firing temperature. The core was cast in a mould, and then coated with wax, which was directly modelled, and eventually covered with an earthy mantle. This innovative analytical approach proved very successful to analyse ancient artefacts and will be applied to other statuettes.

User: J. Agresti, Ist. Fisica Applicata Nello Carrara, CNR, Italy

The usefulness of neutron techniques in archaeometry has been proved through several successful investigations.

JA & SS, IFA "Nello Carrara"-CNR, Italy

Looking millions of years back with neutrons: the hearing of the *Kovingsasaurus* fossilis

Let's travel back in time and imagine how life on Earth was before the biggest mass extinction, 252 million years ago. The *K. fossilis* was a small herbivorous living in the Late Permian period. A scientist investigated the mechanisms through which the *K. fossilis* could hear by conducting neutron tomography experiments and 3D visualisation. The results suggest the *K. fossilis* could hear through bone conduction and seismic vibration. It had much bigger inner ears than any other mammal. Even though the *K. fossilis* had only a skull length of circa 40mm, which is less than a third of the human skull, the ear vestibule had a volume about 25 times larger than that of humans. The animal had a fused triangular head with a snout shaped like a spatula, probably used for digging. This feature also enhanced seismic signal detection, which is how a number of animals sense information such as warnings about predators, courtship or group maintenance.

User: M. Laaß, Ruprecht-Karls-Uni. Heidelberg, Germany

Neutron tomography is suited to investigate the skull as neutrons are able to penetrate fossils very well and produce a good contrast between the fossil bones and the matrix.

M. Laaß, R-K-Uni. Heidelberg, Germany



23

Further Information

Neutron users associations:

ENSA
Austrian Physical Society
Czech and Slovak Crystallographic Association
Danish Neutron Scattering Society
French Neutronics Society (SFN)
German Committee Research with Neutrons (KFN)
Italian Neutron Spectroscopy Society (SISN)
Norwegian Neutron Scattering Association (NöNSA)
Spanish Society for Neutron Techniques (SETN)
Swedish Neutron Scattering Society (SNSS)
Swiss Neutron Scattering Society (SGN/SSDN)

Neutron websites:

NMI3
Neutronsources

www.neutrons-ensa.eu
www.oegp.at
www.xray.cz
www.danssk.risoe.dk
www.sfn.asso.fr
www.sni-portal.de/kfn
www.sisn.it
www.ifn.no/en/ife/departments/physics/projects/nonsa
www.setn.es
snss.se
sgn.web.psi.ch

nmi3.eu
Neutronsources.org

ENSA

The European Neutron Scattering Association (ENSA) is an affiliation of national neutron scattering societies and committees, which directly represent users. The overriding purposes of ENSA are to provide a platform for discussion and a focus for action in neutron scattering and related topics in Europe.



The objectives of ENSA are the following:

- To identify the needs of the neutron scattering community in Europe.
- To optimise the use of present European neutron sources.
- To support long-term planning of future European neutron sources.
- To assist with the co-ordination of the development and construction of instruments for neutron scattering.
- To stimulate and promote neutron scattering activities and training in Europe.
- To support the opportunities for young scientists.
- To promote channels of communication with industry.
- To disseminate to the wider community information which demonstrates the powerful capabilities of neutron scattering techniques and other neutron methods.
- To assist, if appropriate, national affiliated bodies in the pursuit of their own goals.
- Affiliation to ENSA is open to bodies representing neutron scattering users in those countries who are members or associates of the European Union, Switzerland, and Russia.

24

25



Imprint

Editorial Board

Christiane Alba-Simionesco, ENSA and Laboratoire Léon Brillouin, France

Arnaud Desmedt, CNRS - University of Bordeaux, France

Mark Johnson, NMI3 and Institut Laue-Langevin, France

Kenneth Knudsen, Institute for Energy Technology, Norway

Jürgen Neuhaus, MLZ, Technische Universität München, Germany

Don Paul, University of Warwick, UK

Henrik Rønnow, École Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland

Pictures

Cover and Page 26: kindly provided by HZB, ILL, ISIS, LLB, MLZ, NMI3, PSI, Uni. Copenhagen and TU Delft.

Coordination / Edition

Inés Crespo, NMI3 and MLZ, Technische Universität München, Germany

Design and layout
Ramona Bucher, JCNS at MLZ, Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany

Contact

European Neutron Scattering Association
<http://www.neutrons-ensa.eu/>

This brochure has received funding from the European Union's 7th Framework Programme for research, technological development and demonstration under the NMI3-II Grant number 283883.

Published in 2015.

26

27



© Eckert und Heddergott / TU München

**Rapport du « Council for Science and Instrumentation »
CSI du LLB – Juin 2015**

Council for Science and Instrumentation (CSI) of the Laboratoire Léon Brillouin

Report June 2015

Sebastian Schmidt

Roger Pynn

Ferenc Mezei

Robert McGreevy

Kurt Clausen

Ian Anderson

Introduction

The Council for Science and Instrumentation (CSI) was given the mandate by the Conseil d'Administration du Laboratoire Léon Brillouin in their December 2014 meeting to advise LLB management on the medium and long term strategy for the French neutron scattering activities within the future European neutron scattering landscape.

Given the specific focus of assessment the following experts were asked to participate on the committee:

Kurt Clausen, Head of the Neutron and Muon Department, PSI, CH

Robert McGreevy, Director ISIS, UK

Ferenc Mezei, European Spallation Source, Sweden

Roger Pynn, Professor of Physics, Indiana University, US

Sebastian Schmidt, Board of Directors, Jülich Research Center, Germany

The committee participated in an LLB organized workshop "New Opportunities in Neutron Scattering: Small to Medium Sources and their Applications", on May 18 – 19, and then met with LLB management and key personnel on May 20, 2015.

This report has been compiled and approved by all committee members and verified for factual accuracy by LLB management. We have not reiterated the impact of neutron scattering on national science initiatives and industrial development but rather accepted the need for the capability and focused on making it available in a meaningful way to the French research community in the future.

Context

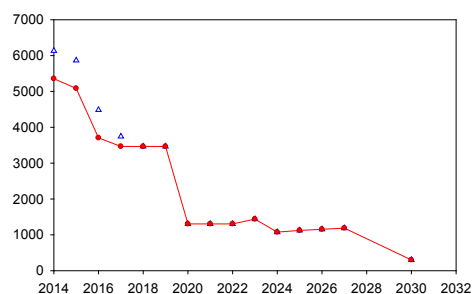
Over 20 years, LLB has developed into a highly integrated Center of Excellence that interconnects neutron science and instrumentation across the French research community. Using the Orphée reactor as its principle resource, LLB is the hub for neutron scattering in France connecting researchers, instrument developers, industry, and other scientific facilities in the region. LLB plays a critical role in preserving and developing the French know-how in neutron based research. This includes training new users, providing critical access to neutrons for established users, and developing a cohort of French researchers and engineers who know how to build and develop instrumentation. LLB/Orphée covers 60% of the neutron scattering needs of the French research community.

In May 2015, faced with the uncertainty in the supply of highly enriched uranium, and the rising cost of fabrication of fuel elements for the Orphée reactor, the CEA and CNRS management announced that the Orphée reactor would operate at a reduced level of 120 days (full power equivalent) until a definitive shut down at the end of 2019.

The Europe Spallation Source ESS plans to put up to 8 instruments into a user program in 2023 but will not reach its full scientific capability/capacity until at least 2030. (This means that the instrument suite is more or less complete and each instrument is mature in capability and user base).

A number of other national/international neutron facilities are either planned for shutdown or, in the case of reactors, in serious threat. Even the future of ILL, the 'de facto' world leading neutron scattering facility, is not clear. CERCA, the company that fabricates the fuel elements for ILL is faced with significant refurbishment costs. Even if the budget for refurbishing the fabrication lines is found the cost of the fabrication is likely to increase. Furthermore the inter-government agreement for operating ILL expires at the time those same countries will need to find budget to contribute to the operating costs of ESS.

Hence over the next few years French (and in fact European) neutron users will see a significant decrease in the availability of neutron instrumentation and beam time. It is also important to note the difference between the **capacity** - the number of experiments and size of user community that can be supported, and the **capability** – the ability to do particular experiments. It is clear that ESS will add significant capability, but will not add sizeable capacity to the neutron landscape. In fact, ESS alone can only provide 16% of the capacity presently available in Europe. The figure shows an estimate (after C. Alba- Simionesco) of the number of instrument days that would be available to French users under the following, realistic scenario: reduction of Orphée operation in 2016, closure of Orphée in 2019, ESS ramp up between 2024-8 and ILL closure in 2030. The blue points represent additional days that would be available from operating CRG's at ILL.



Within an 'ESS only' scenario we estimate that a French user community (the number of French scientists using neutron techniques as part of their research program during a year) of the order of only 100 or so researchers could be supported, compared to of order 1000 at present. This clearly represents a significant loss of scientific capability. The associated cost of maintaining such a small user base is likely unjustifiable and without a national support facility to provide the necessary training and access for underpinning experiments, even the research programs of this small community cannot be sustained. Furthermore an even bleaker outcome of the 'ESS only' scenario is that the lack of a continued knowledge base within national facilities ultimately means that the capability to effectively exploit ESS will be lost.

Hence, if Europe (and France) wishes to maintain access to neutron capabilities for a realistically sized research community then a suite of, cost effective, complementary sources must be available. Since it is very unlikely that any new research reactors will be built in Europe, new sources will be accelerator based. Such sources need to cost <€300M to be affordable by individual countries and energy costs need to be minimized whilst science production needs to be maximized.

Recommendations

France should plan, in the long term and when economically viable, to build and operate a national neutron facility. Such a facility will almost definitely be accelerator based, and should be encompassed in a national center which provides access to French researchers to neutron capabilities, maintains the French knowledge base in neutron technologies traditionally associated with reactors, and provides a training ground for researchers in the use of neutrons in support of national programs. The planning for such a facility needs to start now and be integrated with other European plans including ILL, ESS and the ESFRI roadmap. Early activities to build expertise would also be highly recommended (France has highly developed capabilities in accelerators, but not in their application to neutron sources).

It is very much up to the French community to decide on the role of the national center – whether as a supporter of a broader user community (capacity driven), or a dominated by a national science program (grand challenge), or both. It will also be important to define a unique selling point in science, methodology or technology for the center. Whatever the decision, it seems unavoidable that the size of the French user community will decrease in the (very) near future.

As a basis to developing a roadmap for the future, it is important to consider different sizes of the future community and the models/costs for supporting them, whether through ESS + small national facility/shared inter-country facility/contributions to other facilities.

Given that any new source will inevitably be accelerator based, development of a national programme of relevant development is critical. But this is a problem facing European (world) neutron facilities in general, so there is a strong case for a broad international technical collaboration. Building experience within LLB/France of the effective scientific exploitation of accelerator neutron sources would also be advisable, as this seems to be quite weak at present.

Within an 'ESS only' scenario we estimate that a French user community (the number of French scientists using neutron techniques as part of their research program during a year) of the order of only 100 or so researchers could be supported, compared to of order 1000 at present. This clearly represents a significant loss of scientific capability. The associated cost of maintaining such a small user base is likely unjustifiable and without a national support facility to provide the necessary training and access for underpinning experiments, even the research programs of this small community cannot be sustained. Furthermore an even bleaker outcome of the 'ESS only' scenario is that the lack of a continued knowledge base within national facilities ultimately means that the capability to effectively exploit ESS will be lost.

Hence, if Europe (and France) wishes to maintain access to neutron capabilities for a realistically sized research community then a suite of, cost effective, complementary sources must be available. Since it is very unlikely that any new research reactors will be built in Europe, new sources will be accelerator based. Such sources need to cost <€300M to be affordable by individual countries and energy costs need to be minimized whilst science production needs to be maximized.

Recommendations

France should plan, in the long term and when economically viable, to build and operate a national neutron facility. Such a facility will almost definitely be accelerator based, and should be encompassed in a national center which provides access to French researchers to neutron capabilities, maintains the French knowledge base in neutron technologies traditionally associated with reactors, and provides a training ground for researchers in the use of neutrons in support of national programs. The planning for such a facility needs to start now and be integrated with other European plans including ILL, ESS and the ESFRI roadmap. Early activities to build expertise would also be highly recommended (France has highly developed capabilities in accelerators, but not in their application to neutron sources).

It is very much up to the French community to decide on the role of the national center – whether as a supporter of a broader user community (capacity driven), or a dominated by a national science program (grand challenge), or both. It will also be important to define a unique selling point in science, methodology or technology for the center. Whatever the decision, it seems unavoidable that the size of the French user community will decrease in the (very) near future.

As a basis to developing a roadmap for the future, it is important to consider different sizes of the future community and the models/costs for supporting them, whether through ESS + small national facility/shared inter-country facility/contributions to other facilities.

Given that any new source will inevitably be accelerator based, development of a national programme of relevant development is critical. But this is a problem facing European (world) neutron facilities in general, so there is a strong case for a broad international technical collaboration. Building experience within LLB/France of the effective scientific exploitation of accelerator neutron sources would also be advisable, as this seems to be quite weak at present.

Timeline for Implementation

Short term: (now – 2020, Orphée operating)

- Stretch the number of available beam days at LLB as much and as long as possible, until the final deadline for nuclear operation. Running at 60 - 65 % reactor power still will not make a huge difference for the majority of the studies.
- Put in place mechanisms to enable the French community to get beam time at other facilities, including transfer of instruments and sample environment to other facilities where viable. Transferring instruments will necessarily take time and an associated loss in available beam time can be expected. In particular aim at enabling access to pulsed neutron sources so that the community can gain experience at such sources.
- Establish a funding scheme that: 1) ensures users who compete and get beam time at other facilities receive the necessary travel and operating budget, and 2) makes it attractive for universities and other research labs to carry out "world class" , science using neutrons.
- Aim for an out-station like arrangement with ESS for those 2 -3 instruments for which LLB is the leading laboratory for construction.
- Start considerations/studies for an accelerator driven source at Saclay, taking into account the available experience and existing hardware in accelerator/neutron instrumentation and buildings as available assets at Saclay. Get other relevant communities involved (accelerator isotopes, etc.), communicate this decision broadly and invite European partners to join the discussion.

Medium term (2020- ~2030, no national facility in France, ESS ramping up):

- Maintain a user base and presence with a number of the best LLB instruments installed at other facilities in Europe.
- Develop out-station operation at the ESS instruments built and operated by LLB (or successor).
- Maintain a funding scheme that ensures users who compete and get beam time at other facilities to receive the necessary travel and operating budget.
- Take part in international collaborations for the development of compact sources. Take advantage of available hardware and capabilities at LLB and IRFU to construct and test prototypes, while developing the necessary expertise in target, moderator and instrument technologies.

- Transition the concept of an accelerator based source in France to a design and construction project.

Long term (~2030 onwards, new source on the Saclay site, ESS operating):

- Maintain and develop the out-station at ESS and fully support access to other European facilities.
- Construct a new accelerator based source on the Saclay site.
- Build fully fledged instruments at the new Saclay compact source, using LLB technology/hardware as much as possible.
- Rebuild the user program at Saclay, establishing strong science and instrumentation development programs. Integrate the facility into the complement of science capability available to faculty and students in the new university campus being developed at Saclay.
- Develop NON neutron scattering usage of the accelerator complex where feasible.

Appendix 1 Extract from the CSI report of November 2014

The committee had an extensive discussion about the future of LLB. Timelines about the Orphée shutdown, ESS instruments construction, and number of neutron instruments available for the French community were provided by LLB as a basis for the committee discussions.

- The future of the Orphée reactor seems uncertain after 2019/20. Even if this can be extended to 2025, it is imperative to start planning for the future now. The planning must be based on the unique opportunities offered by the existing capabilities and future development of the Saclay campus (Soleil, accelerator expertise, potential laser facilities, training role at Saclay University).
- A 'build and operate' model would make sense for LLB participation in ESS instruments, as a way of retaining (even attracting) skills. However, this may not be the best model for ESS as a European facility.
- Using a high brightness, pulsed neutron source like the ESS is also different in many respects from using a reactor source like the LLB. Nevertheless LLB, as a national facility, is critical in the preparation of the French neutron community for the use of the ESS.
- It must be stressed that the existing expertise in neutron scattering at LLB is rare on a global scale. It makes strategic sense to retain this – once lost, France will not get it back. France cannot rely on ILL as their national center on a longer timescale.
- If no action is taken, there is a similar risk that the French neutron community would diminish to a small number of experts, and that a broad expertise within the community will be irretrievably lost.
- Education of the next generation of French neutron experts is thus a major issue.
- One solution could be that LLB becomes an interdisciplinary center for the use of neutrons, assembling all instrumental, methodological and scientific expertise for the successful use of the ESS and other major sources, serving as a resource in neutron based science for the whole community. We do not believe this can be a long term solution in the absence of a local source of neutrons where researchers can practice their skills.
- In the short term, it would be useful to organize a workshop in order to increase the awareness of the French community for accelerator based sources and discuss future challenges.
- On the longer term, we suggest that LLB take the lead for the French community to develop ideas for a small accelerator based source using existing local expertise (France is good at accelerators!) and some existing infrastructure (if feasible). Link to related activities such as the UCANS community, the ISIS Front End Test Stand, particularly as regards targets/moderators. Use this activity as a possible springboard for a future medium scale national source.
- Also use this as a platform to build expertise and technology for participation in ESS operation.

Appendix 2 Committee Members

Sebastian Schmidt	Board of Directors, Jülich Research Center, Germany	s.schmidt@fz-juelich.de
Kurt Clausen	Head of the Neutron and Muon Department, PSI, CH	kurt.clausen@psi.ch
Feri Mezei	Technical Director, European Spallation Source, Sweden	feri@esss.se
Robert McGreevy	Director, ISIS, UK	robert.mcgreevy@stfc.ac.uk
Roger Pynn	Professor of Physics, Indiana University, US	rpynn@indiana.edu
Ian Anderson	ORNL – Chair, US	andersonian@ornl.gov

**RAPPORT INTERNATIONAL SUR L'EVALUATION DU
LLB/ORPHEE**

Philippe Nozières - 2003

Rapport International sur le Laboratoire Léon Brillouin

Présenté au Conseil Scientifique du CNRS le 17 novembre 2003

La mission d'évaluation des performances et perspectives du Laboratoire Léon Brillouin travaille depuis début septembre. Elle est composée de :

Massimo ALTARELLI, premier directeur scientifique de l'ESRF, aujourd'hui responsable du Synchrotron Elettra de Trieste. Il nous apporte sa longue expérience de l'articulation neutrons/rayons X.

Jean ETOURNEAU, chimiste de Bordeaux, qui connaît de l'intérieur le rayonnement du LLB sur la communauté nationale.

Henry GLYDE, patron de la physique à l'Université de Delaware, spécialiste des liquides et solides quantiques, familier de l'ILL.

Jean Pierre HANSEN, Professeur de Chimie Théorique à Cambridge, expert des liquides et autres "matières molles".

Feri MEZEI, Professeur à Berlin où il anime la physique autour du réacteur HMI. A l'origine de nombreuses techniques de pointe en neutronique, il connaît très bien la communauté française du fait de son long séjour à l'ILL.

Dieter RICHTER, de Jülich, l'un des acteurs majeurs de politique neutronique en Europe, grand expert de l'application des neutrons en matière molle et biologie.

Les questions posées au départ étaient les suivantes :

- (i) Quels sont les points forts de l'activité du LLB ? Dans quels domaines est il au premier rang ? Quelles sont les expériences qui peuvent seulement être faites là ?
- (ii) Quelle est l'articulation entre le LLB et l'ILL ? Faut il considérer le LLB comme l'endroit où l'on développe des expériences nouvelles avant d'aller *in fine* à l'ILL ? Faut il le considérer au contraire comme un lieu d'innovation où l'on dispose du temps nécessaire pour essayer et tester des projets ambitieux ?
- (iii) Plus généralement, a t-on besoin d'une source de neutrons nationale? La comparaison avec les autres pays européens est à cet égard instructive. La question est *quantitative* (l'ILL ne suffit pas aux besoins), et *qualitative* (la physique des neutrons ne s'épanouira en France que si l'on forme des physiciens des neutrons).
- (iv) Quel est l'impact du LLB sur la scène scientifique française et dans les autres pays européens (Italie, Allemagne, Royaume Uni, ...). La présence de contacts locaux plus disponibles permet elle une meilleure collaboration avec les utilisateurs ?
- (v) Par delà la physique, quel est l'impact du LLB sur la chimie, la biologie, etc...?
- (vi) Comment le LLB s'intègre t-il dans le paysage général des grands instruments?

La discussion a été menée par mel, chacun contribuant des textes sur un sujet donné envoyés à tous les autres. Ceux d'entre nous qui connaissaient mal le LLB l'ont visité pour prendre contact avec les

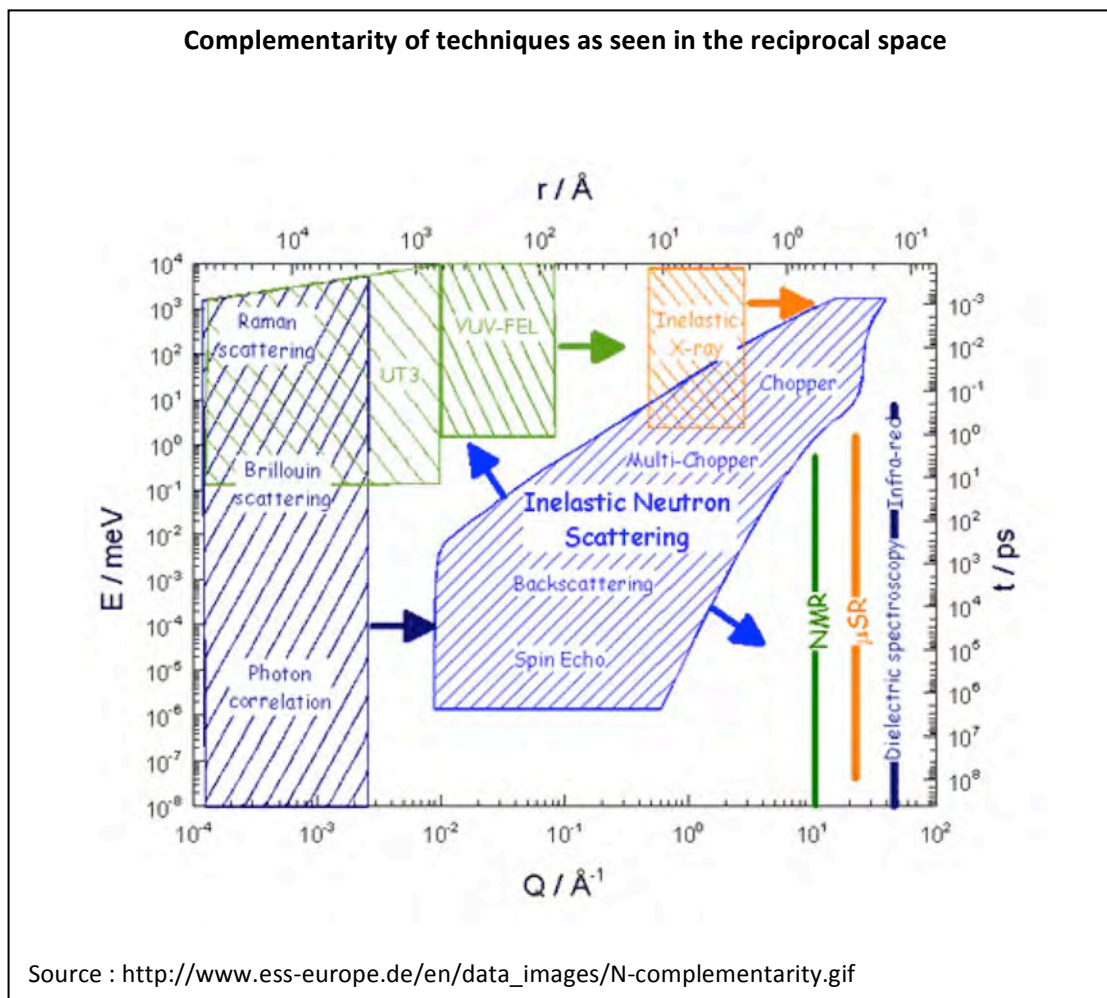
chercheurs et mesurer la qualité de leurs projets. Cette méthode de travail a très bien fonctionné: un consensus s'est très vite dégagé.

Il m'a paru préférable de conserver les textes originaux, dûment amendés, dont la spontanéité est plus convaincante. Ils sont reproduits ci dessous en italiques, structurés par un commentaire de synthèse.

1) POURQUOI DES NEUTRONS ?

Les arguments classiques sont bien connus: sonde faiblement couplée qui ne perturbe pas l'objet étudié, pénétration aisée en volume, sensibilité aux degrés de liberté magnétiques (ce sont les neutrons qui 20 ans après ont confirmé l'existence de l'antiferromagnétisme de Louis Néel!). Les neutrons thermiques ont une faible énergie et se prêtent donc parfaitement à l'étude des excitations élémentaires (pour citer une fois encore la grande histoire, l'observation directe des phonons et rotons de Landau dans ^4He superfluide a été une étape majeure). Pendant longtemps les neutrons avaient le monopole de ces deux domaines, magnétisme et dynamique locale. Ils sont aujourd'hui concurrencés par d'autres techniques. La diffusion des rayons X permet d'accéder aux structures magnétiques, le dichroïsme circulaire ouvre de nouvelles perspectives. La RMN donne des renseignements précieux sur les structures et la dynamique locale. La précession des muons, leur résonance et leur relaxation, donnent accès à de minimes variations de champ magnétique local. Notons que l'exploitation de la RMN et des muons est souvent indirecte alors que les neutrons donnent une imagerie directe dans l'espace réciproque.

En fait toutes ces techniques ne sont pas vraiment en concurrence: elles sont *complémentaires* car elles couvrent des échelles d'énergie et de dimension très différentes. On peut illustrer cette compétition dans le plan " q, ω ", transferts de moment et d'énergie. Chaque méthode a sa niche, par exemple les hautes énergies pour les photons X, les très basses énergies pour la RMN. La figure jointe montre clairement que les neutrons sont seuls en lice dans la région intermédiaire, $q \approx 0,1 - 1 \text{ \AA}^{-1}$, $\omega \approx 10 - 100 \text{ K}$, la plus importante pour la



majorité des problèmes de matière condensée. Les neutrons sont donc irremplaçables. Mais il ne faut pas être impérialiste: la confrontation des différentes méthodes est extrêmement enrichissante, elles se fécondent l'une l'autre. Je préfère laisser la parole à Massimo Altarelli, orfèvre en la matière :

The Saclay area, with the presence of the LLB and soon of the SOLEIL synchrotron, has the potential to become a centre of excellence for some important areas of condensed matter science: structural and electronic properties of solids, magnetic structure and excitations, physics of materials under high pressures, to mention just those I am most familiar with. The very good people present at and around the LLB and their research programs should be regarded as an investment which is now about to produce an even greater pay-off when SOLEIL starts its operation, and vice-versa. The complementarity between neutrons (sensitivity to light atoms, ability to probe excitations, large penetration power) and x-rays (sensitivity to surfaces, possibility to investigate small samples, chemical sensitivity via resonance on core level energies) produces an effect of cross-fertilization which is well documented by examples throughout the world: starting from the very good research record of Brookhaven National Laboratory (where the reactor used as neutron source is now closed for ill-conceived environmental reasons that have little to do with the scientific productivity) and Argonne National Laboratory in the US, continuing with the more familiar examples of the ESRF-ILL in Grenoble, of the Swiss Light Source coupled to the SINQ spallation source at the Paul Scherrer Institut in Switzerland, and projected into the future by the decision in the UK to build the Diamond 3rd generation synchrotron source next to the ISIS neutron spallation source.

Neutrons and x-rays are different complementary tools to investigate the same materials and the same scientific problems. Consider the example of high temperature cuprate superconductors: synchrotrons delivered all the important information about the structure of the Fermi surface and of the superconducting gap, whereas neutrons were indispensable to map out the magnetic excitations. It is very fruitful for people interested in the electronic properties of cuprates and using one or the other probe to meet, to discuss among themselves and even better with theorists, if they also are around. Similarly, as far as the structural properties are concerned, x-rays can map out the structure starting from much smaller crystals, if larger ones are not available; however neutrons can allow a much better refinement of the position of oxygen atoms, which are obscured in x-ray crystallography by the heavier atoms such as Bi, Ba, La, Y, Tl...

The case of structural properties is in a sense even more compelling for the following reason: in the case of electronic properties, the experimental technology necessary to perform modern photoemission experiments (ultra-high vacuum, electron energy analysis by sophisticated electron optics lens systems,...) is very different from that used in the inelastic neutron scattering that probes magnetic excitations. Therefore it is very unusual that the same person is actively taking part in both kind of experiments. This is on the other hand very often the case among crystallographers, among people interested in the magnetic structures, or in the physics of materials under high pressures. The proximity of a neutron and an x-ray source is a major attraction factor for these communities and the synergy effect is very visible, e.g. in Grenoble. The extraordinary development of x-ray magnetic scattering at ESRF owes a lot to the pre-existing magnetic neutron scattering community around ILL.

Il serait totalement absurde d'opposer neutrons et photons X: au contraire, c'est leur conjonction qui permet d'avancer.

Les neutrons ont un autre atout, leur sensibilité aux atomes légers (peu visibles aux rayons X), et en particulier les grandes différences de diffusion pour les isotopes d'un même élément. L'exemple extrême est l'hydrogène: le proton a une forte diffusion incohérente, la substitution H/D est une technique usuelle pour augmenter la diffusion cohérente. Cette différence devient précieuse en milieu aqueux. En jouant sur la composition isotopique du solvant, H₂O/D₂O, on peut contrôler le contraste du solvant avec les objets dissous. et réduire d'un facteur 10 le fond de diffusion, faisant ainsi émerger les détails que l'on a deutérés. Cette méthode de substitution isotopique est parfaitement adaptée au monde biologique, où les objets sont complexes et les protons omniprésents. Je laisse parler Dieter Richter

Dealing with these complex many component mixtures of soft matter and soft matter biosystems, neutrons play an extremely important role. Neutrons access the proper length and time scales on a molecular scale and even more importantly the possibility to perform contrast matching make neutrons an invaluable tool to access key components in such systems which often are crucial for the physical behaviour of a given composite. The dynamic dimension in bio-soft materials again may be accessed with neutrons on labelled materials. Recently some very nice work by the Saclay group on the dynamics of proteins was published. Here the combined neutron scattering approach together with simulations is often decisive. Looking into the last LLB report it is obvious that both in the field of soft matter science, in particular polymers, as well as in biomaterials a very significant number of important publications are visible.

Il est donc clair que les neutrons n'ont rien perdu de leur pertinence. Les techniques expérimentales ne cessent de s'améliorer (et permettent de travailler sur des échantillons plus petits). Le LLB n'est pas à la traîne en la matière: il est au contraire en pointe dans de nombreux domaines, en particulier en réflectométrie et dans l'expérimentation aux conditions extrêmes, par exemple aux hautes pressions (500kbars à 8 teslas et 0,1°K!) Nous y reviendrons plus loin.

2) UN PANORAMA DES NEUTRONS EUROPEENS

L'ILL est la référence mondiale en matière de réacteur. De même ISIS est la source à spallation la plus puissante disponible. Les deux techniques sont souvent complémentaires. En dehors de ces deux équipements de pointe il existe un réseau de sources régionales de moyenne puissance

- En Allemagne Munich FRM2 tout neuf, Berlin HMI et Jülich FRJ2 vieillissant
- En Suisse la source à spallation continue SINQ
- En France Orphée au LLB

Il faut y ajouter des réacteurs plus petits à Delft, Budapest, etc... La question immédiate est la pertinence de sources régionales face aux sources généralistes que sont ILL et ISIS. A plus long terme, quelle est la politique européenne de développement des neutrons? Je laisse la parole à Dieter Richter, étroitement lié à l'élaboration de cette politique européenne: son jugement ne peut pas être taxé de chauvinisme! L'articulation ILL/LLB qui nous concerne sera reprise au paragraphe suivant.

*Let me start with the global neutron strategy which was set up by the OECD Megascience Forum and which was endorsed by the OECD conference of research ministers in 1999. Commissioned by the OECD Megascience Forum a neutron working group with participant from eighteen different OECD countries explored global scenarios for neutron research. The main recommendation which is important for our case, was the outcome for a third generation neutron source to be build in each continent (like the SNS in the United States or J-PARC in Japan), together with the recommendation **"that the new advanced sources be supplemented by network of new and/or upgraded existing sources as required to serve both regional and national science and technologic needs. In each case the justification for the operation of such sources should be on the basis of excellence in science, in technology that is being supported, etc."***

*The recommendation that sustainable neutron research requires both a large top rank facility and a network of excellent medium sized sources supporting them is well founded. There does not exist a laboratory based neutron camera like it is the case for X-rays. Neutron research requires a large facility to be performed. In the OECD recommendation it is also said, that **"the network of well equipped intermediate size sources is needed to serve national communities as home base for the large class of experiments which do not need the highest flux and for the development of new techniques"**. Furthermore educational aspects play an important role. Again the OECD recommendation says **"more than half of the neutron researchers are PhD students and Postdoctorals, who in addition to carry out frontline***

research are being educated in the international environment of the large neutron establishment thereby preparing them for the challenges of professional activity in an increasingly global scientific and industrial world"....

In an OECD sponsored in depth study on the performance and the future perspectives of the OECD neutron sources, a careful evaluation and a ranking of the facilities has been performed. Combining the neutron flux provided by the facility, the instrumentation as well as considering special characteristics of pulsed sources, figures of merits for the different facilities were introduced and widely accepted by the Megascience Forum experts. Though in detail these figures need to be slightly revised, their general validity is still undisputed. According to this evaluation the European medium flux reactors have the following figures for merit.

HMI (Berlin)	40
FRJ-2 (Jülich)	40
FRM-2 (Munich)	61.2 (with 17 scattering experiments)
SINQ (Switzerland)	32.5
ORPHEE reactor (Paris)	70

For comparison the ILL features 134.4 and ISIS 70.3. From this evaluation it is clear that in terms of figures of merit the LLB installation with its large number of scattering instruments is aside of the FRM-2 in Munich, the leading medium flux facility in Europe. It is significantly surpassed only by the ILL.

Considering this standing of LLB within the European network of neutron sources it is natural to conclude that LLB is one of the cornerstones of this network. Its further operation will be crucial to support a sustainable development of European neutron research. This is even more so since the next generation neutron source which was expected to be decided positively this year is now delayed for a longer period. Thus, LLB serves as a home base for the French neutron community, it provides access for many European users, who are supported by the European access program, to carry out experiments which do not need the highest flux, it fosters education of PhD-students and Postdocs and it supports instrument and methods development. Without LLB the excellence in neutron science will suffer strongly and the most efficient use of the ILL will be severely endangered.

Cette conclusion se passe de commentaire : le LLB joue un rôle central sur la scène européenne

3) LA PLACE DU LLB EN FRANCE

Il faut redresser une idée fautive souvent répandue, selon laquelle le LLB serait un second choix de l'ILL. C'est quantitativement faux! Si on mesure la capacité d'un réacteur en "jour-instrument", le rapport LLB/ILL est $\approx 0,8$. Le LLB est donc plus petit que l'ILL, mais du même ordre de grandeur. En fait ce chiffre est trompeur: il faut tenir compte du flux ! Tant que l'on sort un signal du bruit de fond, on peut compenser un flux plus faible par un temps de mesure plus long (on fait moins d'expériences !). Mais ce n'est pas toujours possible, pour des raisons diverses : le véritable atout d'un haut flux est la sensibilité. Dans des conditions extrêmes, l'ILL est donc irremplaçable. Mais toutes les conditions ne sont pas extrêmes : il faut une analyse qualitative plus fine pour dégager l'articulation des deux instituts et leurs parts respectives dans la neutronique française. Je préfère pour cela laisser la parole à Feri Mezei, a priori plus tourné vers l'ILL que vers le LLB, mais qui a une vue d'ensemble de toute la communauté neutronique mondiale:

I would like to recall a few statistical facts (referring to years 1998-2000), which help to find answers to these questions:

- a) *The number of publications in refereed journals based on work done at LLB is about 50% of that of ILL (while LLB provides 77% of instrument-days of ILL)*
- b) *The fraction of high impact publications (PRL and similar) in the total are very similar for LLB and ILL*
- c) *In terms of yearly budget per publication, LLB is slightly cheaper than ILL (80 keuro vs 111 keuro, budget figures from year 2000)*
- d) *To the extent scientific results can be attributed to national origin, yearly about 200 neutron scattering publications by primarily French researchers are produced at LLB against some 150 at ILL (not counting the use of the 2 "private" CRG instruments separately funded and operated by the CEA Grenoble at ILL)*

When they can technically compete, LLB and other centers of similar power produce the same quality of science as ILL. Some experiments, that require the best available flux or instruments with unique parameters, can only be done at ILL. For the same matter, there is a small number of experiments which are feasible at LLB and cannot be done at ILL, namely experiments at the highest pressures available in neutron work. Some LLB instruments may for a while outperform their ILL counterparts in a number of applications. A notable example was Triple-Axis-Spectroscopy, which explains the high impact of LLB work in high Tc stuff.

I would estimate, that about 20 % of the user experiments, in cases where similar instruments and sample environment are available on both sides, really require ILL. The rest can be done at medium flux sources, typically in somewhat longer time. The fraction of experiments that are first prepared at LLB or similar places and then done at ILL is even less, probably under 10 % of the activity at LLB.

ILL has played and still plays a key role in instrument development. LLB also does, but in different fields. For example LLB was pioneer in neutron reflectometry, while the ILL missed that boat for many years. The style of innovation is different at ILL and the smaller centers: ILL often pursues elaborate technology that requires considerable resources and expertise, while the smaller centers go for the unusual, highly risky, less costly. Successful innovations, once established and accepted (10 years at least) spread reasonably over all centers. Altogether a significant part of innovation is driven by combined effort of the smaller centers: more people, more time. In the training of young people, LLB does a lot more than ILL, by their very nature.

In sum: the french part of ILL + the CENG group with its two CRG instruments, on the one hand side, and LLB, on the other, represent comparable scientific power, output and quality. There is a strong complementarity in innovation, scientific expertise, role in training between these two halves of French neutron research, with quite some overlap in the experimental capabilities. The role of work at LLB as preparatory for completion at ILL is marginal, the two rather function at the same scientific level, while doing in many respects different things.

J'ajoute à cette analyse très fouillée quelques commentaires personnels. Le service de "local contact" est pour les physiciens de l'ILL une charge très lourde. De ce fait ils sont souvent débordés. A l'inverse les physiciens du LLB ont plus de temps à consacrer à leurs utilisateurs extérieurs. Le rapport visiteur/physicien est plus faible, les expériences durent plus longtemps : les néophytes peuvent s'initier aux difficiles techniques de la neutronique. Il n'y a là aucun jugement de valeur : l'ILL est avant tout un institut de service, le LLB un laboratoire de recherche. Cette disponibilité est essentielle pour les biologistes et les chimistes, comme le souligne Jean Etourneau. Les chimistes du CNRS utilisent à eux seuls 27% du temps de faisceau du LLB. Ils y nouent des collaborations étroites, ils ont des thésards en commun, ils peuvent tenter des développements risqués qui trouveraient moins bien leur place dans un plan de charge saturé. C'est le privilège des petits centres. La situation est résumée par la phrase d'Etourneau

The missions of both LLB and ILL are apparently the same but we should distinguish these two Centers by trying to answer the following questions:

- *In which Center the availability of the permanent staff is largest ?*
- *In which Center can we develop specific or risky researches asking sustainable actions and programmes ?*
- *In which Center can we really send researchers for a sound training in the use of neutron facilities in the field of Materials Chemistry Materials Science ?*

- *In which Center the access for industrials is the easiest ? This point should merit a special attention.*
According to my opinion the missions defined in the questions raised above are better fulfilled by LLB.

Je suis personnellement convaincu que le LLB est le terreau qui forme la plupart des neutroniciens français. Il suffit de voir le nombre de thésards qui tournent en permanence, qui viennent y apprendre le métier et qui deviendront demain les utilisateurs de l'ILL (et du LLB). Un chiffre qualitatif est éloquent : il est passé en 10 ans au LLB 1000 utilisateurs nouveaux, soit une rotation de 100 « débutants » par an – pour l'essentiel des thésards venus de l'extérieur. Si demain on ferme le LLB la population des neutroniciens français s'étiolera rapidement. C'est aussi l'avis de Massimo Altarelli:

Based on my experience with large facilities, in the long term the quality and quantity of ILL French users would be reduced, if the LLB would no longer be available. This may seem a paradox, but it would happen as a consequence of the reduction of the size and attractiveness of the neutron community. For example, the program of the European Union that supports the access of non-Italian users to the Elettra synchrotron source is mostly used by German, British and French scientists, although it was originally devised by the EU to provide access to light sources to the scientists from countries which do not have their own facility. However the community of users never existed in such countries, whereas it is large, very competitive and increasingly "photon hungry" in countries where synchrotron light is presently available.

4) LES POINTS FORTS DE LA SCIENCE AU LLB

Le LLB a une longue tradition dans le domaine des ondes de densité de charge, appuyée sur les travaux théoriques d'Aubry. Je ne citerai qu'un exemple, les manganites, par exemple, où l'affinement des structures a permis de comprendre la nature de l'appariement : il se forme des paires Mn-O-Mn qui partagent un électron et non une disproportion de valence Mn^{3+} - Mn^{4+} comme on le croyait. Ce couplage de double échange médié par l'oxygène correspond à l'image du polaron de Zener: il renouvelle la compréhension de ce type de matériaux.

Peut être parce que c'est mon domaine, je suis particulièrement impressionné par l'oeuvre du LLB en magnétisme et supraconductivité. C'est là qu'a été découvert par Rossat Mignot en 1991 le mode résonnant magnétique des supraconducteurs à haut T_c qui constitue aujourd'hui un des ingrédients essentiels du problème. Cette impulsion initiale s'est considérablement développée: par la qualité de son instrumentation, le LLB reste en pointe dans l'étude de ces excitations magnétiques. Selon Ch. Varma (qui participait au jury d'habilitation de P. Bourges), le LLB fait le travail le plus sérieux dans ce domaine. Les publications récentes dans des revues prestigieuses (Nature 1999, Science 2000, 2002, PRL 2000,2001,2002) donnent une mesure de l'activité présente du laboratoire. Notons que certaines de ces données sont acquises à l'ILL, mis à contribution lorsque le LLB est impuissant.

L'activité de ce groupe ne se limite pas aux supraconducteurs à haute température: sa virtuosité expérimentale trouve des applications dans bien d'autres matériaux, par exemple $CuGeO_3$ où des précurseurs inattendus à l'instabilité de "spin-Peierls" ont été découverts, dans les manganites où l'on observe des gouttes magnétiques, dans les ruthénates supraconducteurs du type Sr_2CuO_4 où apparaissent des fluctuations magnétiques incommensurables. Dans ce foisonnement de matériaux et d'effets nouveaux le LLB est unanimement reconnu comme un acteur majeur.

La physique des théoriciens est une chose, la réalité expérimentale est un art plus difficile. La qualité d'un laboratoire se mesure aussi à sa capacité d'innovation, qu'a illustrée la grande époque de l'ILL. Avec des moyens beaucoup plus modestes, le LLB reste parfaitement compétitif au plan international, ouvrant souvent des voies originales. Un exemple typique est la réflectométrie, adaptée à l'étude des profils de magnétisme en surface (distribution spatiale et orientation): la rénovation d'EROS augmentera considérablement la sensibilité et en fera l'un des meilleurs instruments mondiaux. On peut faire la même remarque pour la diffusion aux petits angles ou la spectroscopie de temps de vol où les progrès en cours

ouvrent un monde nouveau aux biologistes. Qu'il soit permis au théoricien que je suis d'attirer l'attention sur un aspect moins spectaculaire, mais qui me paraît le germe d'applications très importantes: le développement d'une neutronique "sous contrainte externe". Ce peut être l'étude d'un liquide en écoulement de cisaillement, la clef pour comprendre la rhéologie d'un système complexe. Ce peut être la neutronique sous haute pression: on peut agir sur les transitions de phase "à la main", au lieu de refaire à chaque fois un échantillon de concentration différente. Marier la puissance de l'outil neutronique avec ces conditions extrêmes ouvre un champ fascinant. Le LLB occupe à cet égard une position unique. La cellule haute pression qui y fonctionne actuellement est un véritable tour de force technique, montant à 500kbar, dans un environnement qui peut atteindre 8 teslas ou 0,1°K. Il me paraît évident que cette activité va exploser dans les années à venir.

La physique des matériaux n'est bien sûr qu'un des aspects de la neutronique, relativement établi. L'application à la matière molle, à la chimie, à la biologie est plus récente : elle va vite devenir la plus importante. Les échelles de longueur et de temps des neutrons sont parfaitement adaptées à ce monde multiforme. Ici encore le LLB n'a pas raté le train: il est déjà un acteur reconnu. Conscient de mon ignorance, je préfère laisser parler les experts, d'abord Jean Pierre Hansen pour les liquides:

The study of liquid matter, encompassing "simple" and supercooled liquids, fluid interfaces, "complex" fluids, soft matter and supramolecular aggregates of biomolecules, is of crucial importance for a more quantitative understanding of complex biomaterials, from small peptides and small proteins, to membranes and the structure of entire cells. The traditional distinction between "simple" and "complex" fluids is by now obsolete, since experimental (in particular neutron scattering) and theoretical (statistical mechanics) techniques, initially developed for, and applied to the former, have been successfully extended to the latter. Moreover, in considering biomolecular assemblies, it has become increasingly clear in recent years that the structure and dynamics of large molecules in solution and of self-assembled entities are intimately coupled to those of the aqueous solvent, as emphasized by the importance of hydration effects, hydrophobic interactions and the like. From its early days, LLB has played a key role in the continuous progress of our understanding of liquid matter, and in particular of water and polymer solutions or melts. A careful examination of the more recent scientific output (in particular as described in the latest biannual report) shows that the liquids and soft matter groups at LLB have closely followed and sometimes initiated current developments of neutron scattering applied to increasingly complex systems, and that their work is at the cutting edge of significant progress at the national and international level. An incomplete enumeration of salient results includes:

- *The exploration of elementary excitations of superfluid He in confined geometries.*
- *The structure and dynamics of water at interfaces and in porous media, the characterization of microphase separation in confined binary liquid mixtures and of polymer conformations in pores.*
- *The influence of high pressures and of ageing on the structure of glass-formers.*
- *The characterization of shear-induced nematic ordering of liquid-crystalline polymers, and related rheological investigations.*
- *A detailed study of the self-assembly of rod/coil block copolymers.*
- *A quantitative exploration of the persistence length of polyelectrolytes, providing one of the first verifications of Odijk-Skolnick-Fixman theory.*
- *The structure and solubility of complex binary charged systems, involving polyelectrolyte chains and ionic micelles or proteins; this is a particularly "hot" topic, involving both fundamental aspects (charge screening and over-screening) and industrial (detergents) as well as biological applications.*
- *The structure of topologically constrained supercoiled DNA.*
- *Several important studies involving the individual or collective behaviour of proteins. These include a study of the effect of salt on the misfolding (collapse) of high molecular weight proteins (exhibiting the theoretically predicted "necklace" conformations), the diffusion of globular proteins in crowded solutions, and the influence of hydration on the dynamics of the protein backbone and side-chains.*

These selected topics show that the "liquid matter" groups at LLB have successfully diversified their interests, and are making truly significant contributions to the fast-growing field of complex fluids and their biophysical applications, in close collaboration with excellent teams from inside and outside France. One of the strengths of LLB teams is to

combine the full variety of neutron- based techniques with other, complementary experimental tools, both in-house, and in collaboration with external teams (static and dynamic light scattering, synchrotron radiation, NMR, fluorescence, Raman and other optical spectroscopies, TEM, etc.), as well as with numerical modelling (in particular Molecular Dynamics). LLB is also an international leader in combining neutron scattering with the application of external stimuli, like high pressures and flow. Such concerted studies will be increasingly developed in the future, in order to enable the unravelling of complex behaviour, involving multiple length and time scales. Through their network of external collaborators, LLB teams are well prepared for further extensions of such ventures involving multiple techniques. In disentangling complex structures involving several macromolecular species, molecular solvents and ubiquitous microions, the contrast variation allowed by isotopic substitutions make neutrons the tool "par excellence" among the many available scattering and microscopic techniques. The collective know-how of LLB teams in handling contrast variation will allow them to remain at the forefront of the exploration of liquid matter.

LLB is increasingly turning its attention to biomolecular systems, and some of the results obtained so far are very promising. In particular the work on protein structure and dynamics is highly significant. The knowledge transfer to and from the large life sciences community is facilitated by the GDR "Fonction et Dynamique des Macromolécules Biologiques", which provides an excellent Forum for such exchanges, although further efforts will be needed to convince many molecular biologists (who routinely use X-rays and NMR) of the advantages of neutron techniques. One of the extensions of the current work at LLB could be to proteins embedded in membranes (including ion channel proteins), the importance of which is highlighted by this year's Nobel Prize in Chemistry. Other potential applications of neutron scattering is to DNA/ligand and DNA/protein complexation. LLB teams are in a good position to embark on such ambitious projects.

The strengths of the liquid matter research at LLB may be summarized as follows:

- Skillfull combination of neutron scattering with complementary experimental techniques to increase the range of accessible length and time scales.
- Research ranging from fundamental aspects to technological applications.
- A good coupling with modelling and simulation.
- A good network of external collaborators from competitive institutions.
- Excellent training provided for PhD students. This last aspect has been stressed by other panel members. Having a high quality neutron source in the Paris area is particularly important because of the proximity of many first-rate laboratories working on liquids and soft matter, both in central Paris, and in the Orsay-Saclay-Palaiseau triangle. Moreover a large number of leading scientific universities and Grandes Ecoles are concentrated in the Paris area, providing a large reservoir of good potential PhD students. If LLB were to cease its activities, this would have far-reaching consequences on the training of future generations of "neutron scatterers", and would have, in the long run, a negative incidence on the highly competitive liquid matter research and its link to life sciences in France.

To conclude, closing down LLB would be extremely damaging for a field which flourishes in France, and where Europe clearly has the lead over the USA.

Cette analyse est confirmée par Dieter Richter:

One of the great challenges of the coming decades will be to deal with and understand complexity. Soft matter together with biological materials are in the center of this new drive in science. There is an abundance of different soft matter systems where the mesoscopic entities range from polymers of various shapes in different kinds of solvents and melts, colloidal particles of various geometries and interactions to self assembled structures like lamellar membranes and droplet microemulsions. Composites of soft matter systems, where different kinds of classical soft matter entities are merged play an increasingly important role. In addition the behaviour of soft matter in external fields is hardly explored. With the abundance of soft matter systems including biological materials and all their composite combinations, there is an abundance of phenomena to be discovered, understood and possibly applied.

LLB with its efforts to bring together biophysics and soft matter has positioned itself very well in this emerging field. There are strong activities in the field of polymer science, there is by now a sizesable effort in biophysics supported by theoretical efforts in particular with computer modelling.... In combining in-house activities with the work of strong outside research groups, LLB is on the right path in this new and exciting field of soft matter and biomaterials.

Neutrons will play an essential role also in the future. The large overbooking at the ILL opens an opportunity for LLB to do both, develop the in-house expertise and in parallel to use this expertise in order to advise outside users for the benefit of both.

Dieter développe ensuite l'application aux sciences de la vie et évalue l'activité du LLB en la matière avec son regard de physicien:

The activities in the field of life sciences is to a much larger extent driven by in-house activities within the LLB, which have associated themselves with a number of outside groups who collaborate. Research activities are seen in three areas (a) confined water (b) conformation of proteins in solution, tackling the problem of protein folding (c) the structure dynamic function relationship in biological materials. In all these fields the LLB has performed pioneering experiments and certainly is one of the leading laboratories using neutrons for the investigation of biomaterials. Of particular importance is the close collaboration with computer simulation which is essential in order to interpret experimental results.

In particular interesting are the recent experiments on protein folding, where small angle scattering experiments have been performed on proteins in various states of denaturation. Different morphologies have been identified and irreversibility aspects on the conformation of fibronectin were studied in great detail.

The dynamics of biomolecules, both the diffusion in crowded environments as well as the internal dynamics, have been a focus of recent research. There exists some careful studies on the selfdiffusion of myoglobin at high concentrations addressing both individual and collective motions. The results relate to the oxygen transport on the blood cell level and measurements of hemoglobin diffusion directly inside the erythrocytes were performed. The other fields of interest are internal dynamics of proteins, where function and dynamical properties are related. A recent good example are studies of the effect of trehalose on protein dynamics. The experiments appear to corroborate the theoretical prediction that the glass transition of the matrix into which the protein is embedded plays a major role for the onset of function of the respective protein.

In the future the work on protein folding as well as the structure dynamics functional relationship will be further scrutinized. In the case of folding as a new control parameter the external pressure will be applied, in order to continuously denaturate a protein, or to perform pressure jump experiments, in order to follow the kinetics. For these experiments X-rays as well as neutrons will be employed. For the structure dynamic function relationship partially labelled proteins would be of great help. Here together with outside laboratories new efforts will be undertaken.

Being a physicist, to me the work on biomaterials appears to be well founded and professionally performed. Whether and to what extent these studies touch on the core of the life sciences is quite difficult to judge... However, I am convinced that in the end also physical principles, in particular those which are being developed in the field of soft matter science should play an important role in the understanding of biological function. Thus an intense collaboration between the soft matter and the biophysics could work out further synergies between the two fields.

Lorsque j'ai visité le LLB j'ai été impressionné par la vitalité de ce secteur et par l'enthousiasme de ses acteurs. Certes j'ai moi aussi le regard d'un physicien : la biophysique est un art difficile et le danger est d'être un physicien pour les biologistes, un biologiste pour les physiciens. Les témoignages apportés à la Direction des Sciences de la Vie du CNRS par plusieurs biologistes patentés semblent indiquer que le LLB évite cet écueil et ouvre à la biologie un vrai champ d'applications. Il appartiendra aux Sciences de la Vie d'imprimer leur marque sur les développements à venir.

La conclusion de tous ces textes s'impose: le LLB est un acteur majeur de la physique des neutrons, en France et au plan international, unanimement respecté par nos collègues étrangers. C'est dans ce contexte qu'il faut considérer son avenir.

5) LE LLB VU DEPUIS LES ETATS-UNIS

Il est intéressant de jauger le LLB à l'aune des laboratoires de recherche américains, eux aussi acteurs majeurs de la neutronique. J'ai demandé à Henry Glyde de nous apporter cet éclairage, sous trois angles : (i) une comparaison des modes de fonctionnement de part et d'autre de l'Atlantique, (ii) la réputation scientifique du LLB aux Etats Unis, (iii) une comparaison des moyens engagés pour les grands instruments, tant en investissement qu'en coût de fonctionnement. Voici son témoignage :

LLB is clearly recognized in the USA as a world center of excellence in confined liquids, soft matter, biomaterials and related life (fields close to my interests). Individual scientists and groups are well known internationally and their very significant scientific contributions were readily cited by those consulted. Scientific progress at LLB is part of a long term, based on the insight of the individual scientists (and groups) and the experimental capabilities. LLB is seen as a "stand alone", independent neutron scattering facility that does not rely on any other neutron scattering facility to conduct "final" experiments. Scientists at LLB and ILL do collaborate but these collaborations go back and forth. The choice of facility depends on the availability of beam time, conditions needed for the sample, the individuals involved and many other factors in addition to neutron beam intensity.

LLB and Science in France

The scientific programs of LLB, to their great credit, are deeply imbedded in and highly integrated with universities and other (e.g. CNRS) laboratories in France. LLB is an integral part of the scientific community of the nation, an integration which demonstrates the importance of neutron scattering techniques. Together with ILL, LLB has succeeded in educating much of the scientific community in the value of neutrons as an investigative tool. Reciprocally, LLB scientists gain greatly from these scientific collaborations and can draw on sample preparation capabilities and complementary techniques such as NMR, Raman scattering, X-ray measurements that exist in universities. Evaluation of LLB programs cannot ignore these excellent collaborations.

Approximately 85% of experiments at LLB are made in collaboration with outside scientists. Two thirds of these collaborations are with laboratories within France, one third within Europe and the USA. The scientists from the USA who go to LLB are the very best in their fields. Scientists tend to come to such facilities in two modes. Some are "users" of neutrons, individuals or groups who are scientifically independent and largely direct their own experiments, with the assistance of a local "instrument responsible" who guides them through the instrument. Others are collaborators who have joint research programs with scientists at the facility : the experiments and research are largely done together. Given that LLB is a national facility with a less intense beam, a larger fraction of experiments can be done in the latter mode. Given that ILL is a high flux, high throughput, international facility with several masters, a larger fraction is in the former mode. The two facilities play different roles.

Formation of the future

LLB has an excellent record of training graduate students for a research career in neutron scattering. Forty Ph.D. students have completed their thesis research at LLB in the last three years. Most of these students go on to a career in neutron scattering or associated fields. Some of these students are clearly outstanding : colleagues consulted in the USA knew them by name and cited their research work. The research collaborative mode is an excellent venue for students. The students can be given a topic in the program as well as time to carry it through (ILL has also trained outstanding students from all over Europe, usually in a user's group: the fast paced, international institute flavour suits some students better than others). In addition to students, LLB has introduced practicing scientists in many fields to neutron scattering as a tool of research. Altogether it opens a large community to neutron physics.

The openness of LLB and its integration into the French scientific community, especially in the fields of chemistry and biology, is seen as a major asset. With that integration neutron scattering becomes an outstanding and unique tool. Integration of this nature has not yet been achieved in the USA. Historically in the USA, neutron scattering was conducted largely by "professionals", chiefly physicists, in national laboratories with few participants from outside. A major goal in the USA is to expand "user" and collaborative programs and to bring neutrons to the whole scientific community, especially in biology. Major programs are in place to achieve that goal with growing success. The aim is essentially to create just the scientific structure for neutrons in the USA that LLB has already so effectively established in France.

Examples of excellence

Water plays a key role in protein function. An example of world-class science at LLB in the fields discussed with colleagues is the research on water and water solutions confined in porous media and proteins. Water in porous media such as Vycor serves as a model system for water in proteins and on protein surfaces. The structure and the dynamics of these complex systems are interdependent. Protein function appears to depend predominantly on the long time dynamics. Yet, the long time scale dynamics hinges on shorter time scale processes. LLB scientists and collaborators, drawing on the unique capabilities of neutrons to reveal both structure and dynamics, have made major contributions to this field. Particularly, LLB has unique capabilities to explore the motion of water in proteins under pressure.

The program in soft matter and biomaterials is equally outstanding. This program consists of promoting self-assembly of particles, soaps, lipids and polymers into a rich range of desired structures. The structures are determined using Small Angle Neutron Scattering (SANS). Macromolecules consisting of long-chain molecules are being investigated, as are grafted copolymers for biochips. Polymers attached to surfaces, referred to as brushes, including under shear are investigated using neutron reflectometry. The EROS neutron reflectometer at LLB is an outstanding, world-class instrument. These topics are explored in collaboration with several outside laboratories which drive the wide range of topics. The collaborations bring expertise, such as the polymer chemistry at Bordeaux. On a world scale, the LLB program has leaned more

toward biomaterials related to life sciences. This contrasts work in the USA which has leaned more toward polymers of interest to chemical industries driven by chemical engineering. This is shifting in the USA and LLB work is right at the center of interest with a clear lead in dynamics.

USA colleagues identified other distinguished programs and unique instruments, such as a double focusing triple axis spectrometer and a resonant spin echo spectrometer. Unique capabilities in high pressure at LLB were also noted.

Operating funds

Seen from an American perspective, the proposal to reduce the operating funds of LLB or eliminate them entirely appears surprising. It is quite counter to the current policy in the USA, which is to increase the support for neutron scattering research very substantially. There has been a critical shortage of neutrons in the USA for the past ten years. This arose from the unexpected closing of the HFBR reactor neutron facility at Brookhaven National Laboratory, the slow development of the spallation neutron source, LANCE, at Los Alamos National Laboratory and the delay in deciding what type of new source to build. This latter emerged as the Spallation Neutron Source (SNS), which will come on line in 2006 at Oak Ridge National laboratory. While established fields such as magnetism have survived this period reasonably well, newer fields such as soft matter, biomaterials and the life sciences are critically underdeveloped in the USA, especially in the case of dynamics of biomaterials.

As a deliberate policy the USA is devoting substantial new capital funds to neutrons, \$ 1.4 B to build the SNS, a major upgrade of the HFIR reactor source at ORNL (completed) and a major instrument program at LANCE. After 2006 the USA will be spending approximately \$ 250 M annually to operate neutron facilities (Annexe 2). This does not include the substantial instrument-building program at SNS that will continue after 2006. This number is, of course, only an estimate, but one made in consultation with DOE and NIST. The current annual operating funds devoted to synchrotron facilities in the USA is similarly estimated as \$235 M. This does not include contributions from groups who build and operate beam lines and instruments independently at the synchrotron facilities : absolute figures are not significant (if anything they are underestimated). But ratios are !

Three policy points for neutron facilities emerge:

- 1) The USA is making a substantial investment in neutron scattering facilities. The techniques of neutron scattering and synchrotron radiation are seen as complementary. One is not a replacement for the other.*
- 2) The USA will soon be spending a comparable amount to operate its neutron and synchrotron facilities.*
- 3) Given the \$ 250 M of annual operating funds for neutrons in the USA after 2006, the current annual expenditure of \$ 45 M to operate LLB and the French portion of ILL in France seems modest and totally reasonable. This is especially the case given the high productivity of these two existing and impressive facilities.*

The USA has suffered the consequences of reduction of neutron facilities and is paying a major price to restore them. ILL is clearly the best and largest neutron scattering facility in the world and France has been wise to play a leading role in initiating and operating it. LLB is similarly an outstanding national facility- based on the distinction of its current science, the deep integration of its research within the scientific community of France and the leading role it is playing in training future scientists and bringing neutron scattering to the nation. Given its relatively modest operating costs, LLB should be operated at its full 180 days per year with its instrument development program of \$ 1M per year supported. It is a major national resource in full scientific sail.

6) POURQUOI AVONS NOUS BESOIN D'UNE SOURCE DE NEUTRONS NATIONALE ?

La réponse est d'abord quantitative: la part française de l'ILL ne peut pas satisfaire les besoins de neutrons des laboratoires français, de loin! Les chiffres sont éloquent: en 2002 le nombre de jours instruments utilisés par des laboratoires français se décompose comme suit:

- ILL	1.201
- CRG français à l'ILL	432
- LLB	2.321
- Réacteurs étrangers (surtout ISIS)	183

Il faut pondérer ces chiffres de temps par le flux disponible sur chaque site. Mais il est clair qu'arrêter le LLB signifie étrangler l'expérimentation neutronique en France.

Le LLB est aussi nécessaire pour des raisons qualitatives. Certes l'ILL offre des possibilités uniques (qui ne sont pas toujours nécessaires si l'on dispose de plus de temps). Mais pour en bénéficier il faut savoir parfaitement à l'avance ce que l'on veut y faire. Les temps sont mesurés, le planning échevelé, et il n'est pas question de patauger pour apprendre le métier, encore moins d'explorer des voies hasardeuses. Ce sont pourtant ces excursions dans l'inconnu qui apportent l'innovation. Le LLB, lui, vit sur un rythme plus calme. Il offre aux débutants une disponibilité immédiate, qu'il s'agisse de chercheurs issus d'autres disciplines, ou mieux encore de thésards qui partent de rien. C'est principalement là que se forment les utilisateurs et les spécialistes de demain. Une fois formés ils seront mûrs pour aller à l'ILL et tirer profit de ses performances extrêmes. Il faut pouvoir dialoguer avec les hommes de l'art pour savoir ce qui est faisable. Le LLB joue parfaitement ce rôle, c'est plus difficile à l'ILL. Il est instructif de discuter avec les utilisateurs chimistes ou biologistes: les "pros" exploitent les capacités de l'ILL si nécessaire et se tournent vers le LLB quand ils ont besoin de temps - c'est le bon sens. Ceux qui sont moins formés à la neutronique préfèrent le LLB. Au sein même du LLB les chercheurs n'hésitent pas à se tourner vers l'ILL quand en ont besoin. En gros, un chercheur sur deux va à l'ILL pour environ une semaine par an. Le recouvrement existe donc, mais il est marginal : les deux institutions sont essentielles.

Une communauté ne s'épanouit que si elle a un terreau national. Tous les pays le savent: il est très difficile d'intéresser les chercheurs aux neutrons ou au rayonnement synchrotron si cette démarche ne s'appuie pas sur un équipement proche. Ces techniques sont exigeantes et impliquent un saut qualitatif: il faut s'y roder sur place avant d'utiliser des équipements internationaux. Certains physiciens s'investissent spontanément: c'est le cas de l'Espagne, gros utilisateur bien qu'elle n'ait aucun moyen sur place. C'est un peu l'exception: les neutroniciens italiens, de grande qualité, viennent au LLB et à l'ILL, mais ils sont peu nombreux. De toute manière une telle démarche volontariste est difficile pour les chercheurs de disciplines plus éloignées - sauf en Allemagne et en Grande Bretagne qui disposent d'une source nationale.

Besoin quantitatif de temps de faisceau, besoin qualitatif de formation et d'innovation, deux raisons qui militent pour le maintien et du développement du LLB. J'en ajouterai deux autres:

- la présence à Saclay d'outils expérimentaux uniques en leur genre - je pense en particulier à la neutronique sous haute pression et à la réflectométrie
- la proximité dans quelques années de SOLEIL. Il est de plus en plus clair que neutrons et rayonnement synchrotron sont des outils complémentaires qui se fécondent mutuellement. Ils apportent des éclairages différents sur les mêmes problèmes: l'expérience de l'ILL et de l'ESRF montre l'importance d'un dialogue permanent entre les deux communautés. Si les théoriciens peuvent vivre en symbiose, les expérimentateurs, eux, ne sont pas interchangeables. Ils doivent être voisins pour faire éclore des projets communs. A terme le LLB et SOLEIL rempliront ce rôle. Cela prendra du temps - mais supprimer une pièce de l'attelage rendrait l'autre bancale.

CONCLUSION

La mission de ce groupe de réflexion est d'ordre scientifique. Il ne nous appartient pas de disserter sur le financement du LLB, sur l'implication relative du CNRS et du CEA, sur l'équilibrage des relations internationales avec les chercheurs étrangers - encore moins de comparer la charge pour le budget français de l'ILL et du LLB qui ont des règles comptables différentes (c'est un travail de professionnel !). Mais un point capital doit être souligné. La décision de construire un instrument nouveau est une décision politique. Une fois l'instrument construit, les organismes qui le gèrent sont comptables vis à vis du pays de son utilisation. Il leur appartient de rentabiliser les investissements lourds qui lui ont été consacrés. Passer un tel investissement par profits et pertes pour des raisons comptables serait un gachis inacceptable pour le pays dans son ensemble. Le LLB appartient à cette catégorie. Il est à la pointe de la technique, reconnu comme l'un des réacteurs les plus performants au monde dans sa catégorie. Les programmes de jouvence successifs (le dernier est en route) le maintiennent à ce niveau. L'investissement cumulé a produit un outil remarquable, utile à toute la communauté scientifique, des physiciens aux biologistes. Nous sommes tous comptables de cet investissement. Maintenant qu'il apporte ses fruits, le disperser serait un gachis intolérable.

Un accord provisoire a été conclu pour 2004 entre les deux partenaires que sont le CNRS et le CEA : il prévoit une forte réduction du nombre de jours de fonctionnement, qui passe de 180 en 2002 à 110 en 2004. Cette chute draconienne de 39% peut résoudre des problèmes de trésorerie immédiate, mais à terme c'est une très mauvaise solution. La demande de neutrons des scientifiques français ne pourra plus être honorée, et ce pour des économies marginales (la réduction réelle des dépenses est bien inférieure, car beaucoup de chapitres sont incompressibles). Une telle demi-mesure est elle aussi incompatible avec la rentabilisation des investissements passés

Pour conclure, un point essentiel doit être souligné. Nous avons plaidé la cause du LLB, qui reste un acteur majeur de la neutronique en France et en Europe. Mais ce faisant nous ne mettons pas en cause le rôle de l'ILL. Il faut cesser d'opposer les deux instituts : ce n'est pas l'un ou l'autre, mais l'un et l'autre. Ils sont à bien des égards complémentaires, l'ILL irremplaçable lorsqu'on s'approche des limites de sensibilité, le LLB moins performant mais plus flexible. Ils ont besoin l'un de l'autre: vu du LLB, l'ILL permet de pousser la technique à ses limites extrêmes, vu de l'ILL, le LLB permet d'explorer des voies inattendues et de former les générations futures de neutroniciens. Ensemble ils assurent à la France une position solide à l'échelle internationale.

Ph. Nozières
19/11/2003

Annexe 1

Le tableau ci contre recense les échanges de services entre neutroniciens français et étrangers. Il convient de mettre à part les CRG, financés conjointement par les deux parties. Dans certains cas le bilan est bien équilibré (pour l'Angleterre par exemple). Il est plus souvent déficitaire. Ce serait une grosse erreur de vouloir le rétablir sur des critères purement financiers. Un tel bilan ne peut être que global. Les neutrons français peuvent être compensés par les photons italiens, etc... De toute manière, la coopération entre pays européens est inscrite dans l'histoire : il faut la préserver et l'encourager ! Elle ne se limite pas d'ailleurs à des temps de faisceau. Je cite comme exemple la collaboration avec la Russie, qui a apporté au LLB sa technologie des hautes pressions, fleuron de son développement instrumental.

Il convient donc d'être prudent. On pourrait par exemple chercher auprès de la Communauté Européenne une aide matérielle pour ceux des utilisateurs qui ne sont pas en mesure d'assurer un minimum de réciprocité. Nous soulevons la question qui n'est pas de notre ressort pour formuler une mise en garde.

Bilan des réalisations par pays pour l'année 2002

Pays	CRG	Nbre d'expériences réalisées	Temps de réalisation (en jours de faisceau)	% du temps de réalisation par pays	Temps français réalisé à l'étranger (% du temps disponible)
ALLEMAGNE	CRG (2)	39	206 120	5,70%	60
AUTRICHE	CRG (1)	8	37 60	1,02%	
BELGIQUE		3	14	0,39%	
ESPAGNE		13	80	2,21%	
GRECE		6	40	1,11%	
IRLANDE		2	10	0,28%	
ITALIE	CRG (1)	16	28 60	0,77%	
PAYS-BAS		6	28	0,77%	
PORTUGAL		2	13	0,36%	
ROYAUME-UNI		8	81,5	2,26%	77 (3%)
SUEDE		7	22	0,61%	
HONGRIE		3	32	0,89%	
POLOGNE		5	66	1,83%	
REPUBLIQUE TCHEQUE		3	20	0,55%	
ARGENTINE		1	11	0,30%	
ETATS-UNIS		8	55	1,52%	
JAPON		7	48	1,33%	
MAROC		5	18	0,50%	
ROUMANIE		2	19	0,53%	
SLOVAQUIE		2	16	0,44%	36 (3,5%)
SUISSE		3	55	1,52%	
TUNISIE		2	5	0,14%	
TOTAL	5	477	3613,5	-	173

Annexe 2 : projected operating annual cost of neutron facilities in the US in 2006

« NCNR »	National Institute of Standards Reactor, 4.10^{14} n/sec/cm ² , 20 instruments	\$20M
« HIFR »	Oakridge Reactor, 1.10^{15} n/sec/cm ² , 8 instruments	\$40M
« LANCE »	Los Alamos Spallation, 56 kW	\$40M
« IPNS »	Argonne Spallation, 7 kW	\$17M
« SNS »	Oakridge Spallation, 1.400 kW	\$150M
Reference :	ILL = $1,5.10^{15}$ n/sec/cm ² , 35 instruments LLB = 3.10^{14} n/sec/cm ² , 25 instruments ISIS = 160 kW	