

# **A propos des sources de neutrons compactes**

Par le Conseil Scientifique et Instrumental

de la Fédération Française de la Diffusion Neutronique,

mai 2018

## Table des matières

1.	Compte-rendu du séminaire sur les sources de neutrons compactes (Paris, 13 avril 2018).....	2
1.1.	Contexte .....	2
1.2.	Les sources compactes à travers le monde.....	2
1.3.	Principe de construction d'une source compacte de neutrons .....	3
1.4.	Evaluation des performances de la source SONATE selon le type d'instrument.....	3
1.5.	Evaluation des performances d'un diffractomètre sur SONATE .....	4
1.6.	HBS : a high brilliance source for Germany.....	4
1.7.	Table ronde.....	4
2.	Propositions et avis du CSI à l'issue du séminaire.....	5

## 1. Compte-rendu du séminaire sur les sources de neutrons compactes (Paris, 13 avril 2018)

### 1.1. Contexte

Un bouleversement du paysage de la diffusion des neutrons est en cours : fermeture du réacteur Orphée du Laboratoire Léon Brillouin fin 2019 et construction de la source européenne pulsée ESS (Lund, Suède) avec une ouverture à des utilisateurs « expérimentés » au plus tôt en 2023. La source ESS sera extrêmement performante mais nous sommes néanmoins dans un contexte de forte réduction du temps d'accès à la diffusion des neutrons pour les acteurs français (recherche et industrie) avec un accès limité à 300 jours de faisceau à ESS pour la communauté française. Il existe cependant un volume d'expériences qui ne nécessite pas les performances d'ESS. Il peut s'agir d'expériences ne requérant pas le plus haut flux de neutrons ou de la formation ou de la préparation nécessaires à la réussite des expériences demandant plus de flux. Dans ce contexte, la possibilité de construire une « Source de neutrons pulsée compacte » (projet SONATE) est actuellement en cours d'évaluation. Les tutelles possibles de ce projet (CNRS, CEA) ont donc demandé à la Fédération Française de la Diffusion Neutronique (2FDN)<sup>1</sup> d'organiser un séminaire sur ce nouveau type de sources de neutrons. Des [documents](#) sont disponibles sur le site de la 2FDN. Le séminaire s'est tenu le 13 avril 2018 à Paris, en présence des tutelles (CEA, CNRS), du comité de direction et du conseil scientifique et instrumental (CSI) de la 2FDN, du bureau de la Société Française de Neutronique (SFN), de responsables d'axes du LLB, de représentants de la SFN auprès de ENSA (European Neutron Scattering Association), de 3 personnes de l'IRFU/CEA Saclay, de 2 personnes de l'IN2P3 et de quelques personnes du ministère.

Virginie Simonet, directrice de la fédération, a présenté les objectifs de cette journée :

- Information et réflexion pour les participants au séminaire
- Première étape de la discussion, à poursuivre dans les mois à venir, avec les utilisateurs (représentés ici par les membres du bureau de la SFN ainsi que par ceux du CSI de la 2FDN)

La matinée a été consacrée à des présentations en lien avec le projet de source compacte SONATE et l'après-midi à une table ronde.

### 1.2. Les sources compactes à travers le monde

*Par Alain Menelle, Laboratoire Léon Brillouin.*

Les sources de neutrons compactes existent depuis les années 1950. Elles étaient principalement dédiées aux mesures de section efficace en physique nucléaire et à des tests de cœurs sous-critiques.

**Principe de fonctionnement d'une source compacte.** Une source CANS (Compact Accelerator Driven Neutron Source) associe accélérateur + cible + modérateur et se décline selon deux technologies : (1) un accélérateur d'électrons vers une cible contenant des éléments lourds (tungstène, uranium) ou (2) un accélérateur de protons ou de deutons vers une cible d'éléments légers (Li, Be). Le projet SONATE serait du deuxième type.

---

1 La fédération 2FDN a été créée en 2017 pour faire face aux défis à venir liés au bouleversement du paysage français et européen en science neutronique. L'objectif principal de cette fédération de recherche est de réunir tous les professionnels travaillant dans le domaine de la diffusion neutronique pour définir les contours d'une stratégie future autour de la recherche utilisant la diffusion de neutrons.

Avantages : moins de rayons gamma et d'activation.

Difficulté : accélérateur de protons à courant élevé non-commercial nécessaire et tenue dans le temps de la cible et du modérateur à valider.

**Contexte international** : en raison de leur coût très inférieur à celui d'un réacteur ou d'une source à spallation, des sources compactes dédiées à la diffusion des neutrons ou à l'imagerie existent déjà ou sont en cours d'étude à l'échelle mondiale : Japon, Corée, USA, Chine, Argentine, Israël. **En Europe : 5 projets de sources compactes sont en phase d'étude** (Allemagne, Espagne, Italie, Hongrie, France).

### 1.3. Principe de construction d'une source compacte de neutrons

*Par Jérôme Schwindling (CEA-IRFU)*

Le CEA-IRFU (Saclay) possède une grande expérience dans la construction d'accélérateurs, notamment pour les sources de neutrons pulsées (accélérateur du projet israélien SARAF, participation -avec l'IN2P3, CNRS- à la construction de l'accélérateur d'ESS, de SPIRAL2 au GANIL, de LINAC4 au LHC, et de IFMIF).

Dans le cadre du projet SONATE, en partant de la demande exprimée par les utilisateurs d'un flux d'environ  $10^{14}$  neutrons rapides/seconde produits par la cible, l'IRFU a réalisé les calculs des performances nécessaires au niveau de l'accélérateur. A noter que le flux demandé étant relativement important, la question de la réglementation nucléaire est encore à l'étude. **On ne sait pas actuellement si l'activation sera suffisamment faible pour que la source de neutrons compacte ne soit pas classée Installation Nucléaire.** L'IN2P3 n'est pas impliquée actuellement au niveau de l'accélérateur pour SONATE, sa contribution concernerait plutôt la cible.

Un démonstrateur pour le projet SONATE va être testé en utilisant l'accélérateur existant [IPHI](#) du CEA-IRFU d'ici à 2020 (financement SESAME, énergie des protons : 3 MeV). Une demande sera déposée dans le cadre du troisième volet du plan d'investissements d'avenir (PIA III) pour réaliser ensuite des tests avec des protons de 20MeV (énergie visée à terme pour le projet SONATE).

### 1.4. Evaluation des performances de la source SONATE selon le type d'instrument

*Par Frédéric Ott, Laboratoire Léon Brillouin*

Une source compacte émet beaucoup moins de neutrons qu'un réacteur classique (Orphée, ILL), mais en utilise une fraction beaucoup plus importante. Les simulations réalisées montrent que **les instruments qui ne sont pas extrêmement gourmands en flux de neutrons (réflectivité, petits angles, diffraction de poudre, imagerie) pourraient fonctionner à un bon niveau avec SONATE.** Les techniques de temps de vol pourraient aussi être implémentées sur une source compacte. Il est néanmoins noté que les calculs ne permettent pas d'évaluer le bruit de fond des expériences, qui sera donc évalué ultérieurement sur des prototypes. La possibilité de faire des sources froides est aussi évoquée (pas encore de démonstration expérimentale).

Il est important ici de noter que **toutes les techniques ne peuvent pas être implémentées dans de bonnes conditions sur une même source compacte.** En effet, l'espace des phases (la divergence, les durées de pulse) doivent être adaptées à l'instrument visé.

Pour un ensemble de techniques de diffusion neutroniques, le flux au niveau de l'échantillon serait équivalent aux flux actuellement utilisés sur le réacteur Orphée ou à ISIS.

Dans le cas particulier des spectromètres à trois-axes, une source pulsée est inefficace. L'implémentation d'un appareil en temps de vol indirect pourrait permettre de retrouver des

performances satisfaisantes. Ce point pourra être ré-étudié ultérieurement, après retour d'expérience sur les projets CAMEA@PSI et BIFROST@ESS (A Prismatic Approach to Neutron Spectroscopy) à l'ESS.

**Actuellement, le point dur au niveau technologique pour le projet sonate est la cible.**

Coût estimé du projet SONATE, qui réutiliserait un certain nombre d'instruments du LLB : 50 M€.

### 1.5. Evaluation des performances d'un diffractomètre sur SONATE

*Par Xavier Fabrèges, Laboratoire Léon Brillouin*

Les calculs ont été réalisés avec la contrainte de ré-utiliser des instruments actuellement sur ORPHEE, pour minimiser le coût de l'instrument. Pour un coût estimé de 1.1 M€ (choppers et guide principalement), le diffractomètre serait plus efficace que ceux disponibles au LLB, le gain venant de la surface de détection plus grande utilisée.

### 1.6. HBS : a high brilliance source for Germany

*Par Thomas Brückel, FZT Jülich*

Projet présenté : vers deux types de sources compactes en Allemagne.

Nova Era (sources utilisant des accélérateurs commerciaux) pour l'éducation/formation aux neutrons.  
Coût estimé : 10 M€ par source.

HBS (High Brilliance Source) pour la recherche. Coût estimé : 300 M€ pour HBS

### 1.7. Table ronde

#### ***Quelle science sur SONATE ?***

Le projet SONATE serait dans un premier temps centré sur la science des matériaux et leur caractérisation, avec des techniques d'imagerie, de réflectométrie, de diffraction et de diffusion aux petits angles. Il concerne la recherche fondamentale comme la recherche appliquée, en particulier dans un certain nombre de domaines clés (dont énergie et environnement). **Il est proposé de prévoir un projet évolutif, légèrement « surdimensionné », pour avoir à termes la possibilité d'utiliser deux cibles avec des taux de répétition différents.**

#### ***La formation aux techniques neutroniques.***

Indispensable pour espérer obtenir du temps de faisceau à l'ESS, elle serait assurée sur les instruments CRG (Collaborating Research Group) de l'ILL et sur ceux de la source SONATE.

#### ***Quelle articulation par rapport aux autres sources de neutrons ?***

A terme, la France contribuera à hauteur de 20 M€ / an au fonctionnement de ESS. Pour utiliser cet investissement, il faut une communauté française de neutroniciens forte.

La source compacte SONATE est une solution proposée pour maintenir vivante une communauté de neutroniciens en France.

Il est aussi nécessaire que l'ILL soit maintenu en fonctionnement sur les 15 années à venir. En effet, on peut raisonnablement escompter l'ouverture d'ESS aux utilisateurs « lambda » en 2025 puis une dizaine d'années pour arriver à des performances optimales.

Les sources compactes étant adaptées aux instruments, une coordination au niveau européen ou régional serait intéressante pour disposer de sources compactes optimales sur des instruments ciblés. Une source compacte binationale avec un coût plus important mais aussi des performances accrues, pourrait aussi être envisagée dans un second temps.

### ***Quel mode de fonctionnement pour SONATE ?***

Cette question est prématurée en l'état actuel du projet mais il est intéressant de commencer la réflexion. La mise en place du mode d'accès simplifié et plus rapide est discutée. Avoir deux modes de fonctionnement : « easy-access » et accès via des dépôts de propositions ? Faire évaluer les propositions tous les deux mois plutôt que tous les six mois ?

### ***SONATE versus une autre source compacte***

Une discussion est lancée sur la possibilité d'utiliser des deutons de 1.5 MeV (au lieu des protons de 20 MeV – projet SONATE) avec une cible en cours de développement par l'IN2P3 à Grenoble. Mais le flux serait inférieur à celui défini pour SONATE.

### ***Autres projets actuels.***

La vision du futur de la neutronique en France ne se résume pas à SONATE. Pour limiter la perte liée à la fermeture d'Orphée, deux nouveaux CRG sont proposés à l'ILL : un spectromètre trois-axes et un spectromètre à petits angles. L'installation du spectromètre petits angles PA20 d'Orphée à PSI (Suisse) est aussi en cours de discussion.

## 2. Propositions et avis du CSI à l'issue du séminaire

- **Soutien au projet de source compacte SONATE**, qui s'inscrit dans une évolution des sources pour la diffusion neutronique au niveau européen comme au niveau mondial.
- Dans la situation actuelle (fermeture du réacteur ORPHEE fin 2019, mise en fonctionnement de l'ESS pour l'utilisateur « lambda » dans un délai encore incertain, projet SONATE en cours de validation expérimentale), **il est fondamental que l'ILL soit maintenu en fonctionnement sur les 15 prochaines années.**
- **Soutien aux projets de nouveaux CRG 3-axes et petits angles à l'ILL, ainsi qu'au projet d'implantation de PA20 à PSI.** Si ces projets sont réalisés, et en intégrant aussi ici la réalisation du spectromètre SHARP (actée) à l'ILL, un certain nombre de besoins en diffusion inélastique des neutrons et en diffusion des neutrons en petits angles seront satisfaits. Par contre, nous avons des **inquiétudes sur le devenir des expériences de diffraction avec la fermeture du réacteur ORPHEE.** A noter le projet de diffractomètre sur SONATE présenté en 1.5 qui permettrait de répondre en partie au moins au besoin de diffractomètre.
- Il faudrait établir (Qui ? Comment ?) une « **road-map** » française pour la diffusion neutronique sur les 20 ou 40 prochaines années.
- Nous sommes intéressés par tout retour sur ce document. Contactez un [membre du CSI](#) que vous connaissez ou Pascale Launois ([pascale.launois@u-psud.fr](mailto:pascale.launois@u-psud.fr)), présidente du CSI.