

---

# Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

## *Accélérateurs et instrumentation associée*

---

### COMPACT ACCELERATOR NEUTRON SOURCE

---

#### **Auteur principal**

Nom : BAYLAC Maud

Affiliation : CNRS - LPSC Grenoble

Email et coordonnées : [baylac@lpsc.in2p3.fr](mailto:baylac@lpsc.in2p3.fr)

Tel : 0476284112

#### **Co-auteurs**

*BOULY Frédéric : CNRS – LPSC*

*CHEYMOL Benjamin : CNRS - LPSC*

*BONDOUX Dominique : CNRS – LPSC*

*GOMEZ MARTINEZ Yolanda : CNRS – LPSC*

*BOUQUEREL Elian : CNRS- IPHC*

*TRAYKOV Emil: CNRS- IPHC*

*PERROT Luc : CNRS-IPNO*

*Contribution à rédiger en français ou en anglais et à envoyer à [PROSP2020-GT07-COPIL-L@IN2P3.FR](mailto:PROSP2020-GT07-COPIL-L@IN2P3.FR)  
avant le **1<sup>er</sup> novembre 2019***

## 1. Informations générales

**Titre :** Compact Accelerator Neutron Source

**Acronyme :** CANS

**Résumé** (max. 600 caractères espaces compris)

*Ce projet est consacré au développement d'une source de neutrons compacte produite par accélérateur (Compact Accelerator Neutron Source, ou CANS). Il a pour but de fournir une source intense de neutrons thermiques/épithermiques (voire rapides avant modération) aux communautés d'utilisateurs de recherche et industriels à l'horizon de la fermeture des réacteurs exploités en France et en complément d'ESS. De structure classique, l'originalité de ce projet est de concevoir un accélérateur de haute fiabilité, adaptable et peu coûteux pour faciliter le financement de sa construction et de son opération.*

**Préciser le domaine de recherche** (plusieurs choix possibles)

- *Physique des accélérateurs (nouveaux concepts machines, optique et dynamique des faisceaux...)*
- *Développement durable de la discipline (infrastructures technologiques, efficacité énergétique, fiabilité...)*

**Préciser la motivation principale visée par la contribution :**

- *Accélérateurs pour les sources de lumière ou de neutrons*
- *Accélérateurs pour les applications sociétales (santé, énergie, industrie...)*

## 2. Description des objectifs scientifiques et techniques

Les sources de neutrons sont utilisées en France, en Europe et dans le monde pour des applications de diffusion neutronique dans des domaines allant de la biologie aux sciences des matériaux. Elles sont équipées d'instruments proposant des techniques diverses pour sonder les propriétés de la matière (neutrographie, diffraction, spectrométrie, spin écho). En plus des applications de diffusion, les sources de neutrons peuvent également être utilisées dans le domaine médical pour la production de radio-isotopes ou dans le domaine de la microélectronique pour les irradiations de circuits. En électronique, la miniaturisation des circuits ainsi que le développement d'applications critiques comme les véhicules autonomes, du stockage de masse dans des data centers et des applications dans le domaine spatial, augmentent la demande des sociétés industrielles pour des tests de fiabilité des circuits sous flux de particules, notamment avec des neutrons. Dans le monde, une cinquantaine de réacteurs sont actuellement en exploitation pour ces applications neutroniques. En France, il en existe deux : l'installation la plus intense est fournie par le réacteur de l'Institut Laue Langevin (ILL) à Grenoble, en opération depuis 1971 [ILL] et le réacteur Orphée du Laboratoire Léon Brillouin (LLB), exploité depuis 1980 à Saclay [LLB]. A l'horizon de l'arrêt des réacteurs Orphée (fin 2019) et ILL (>2023), le besoin d'une source de neutrons pour des applications de recherche et industrielles est donc avéré.

Les sources de neutrons produites par accélérateur offrent des flux limités par le courant du faisceau mais présentent plusieurs avantages par rapport aux réacteurs (blindage moins important, coût moindre, plus grande proximité du modérateur). Malgré le démarrage prévu de la source de spallation européenne (ESS), les besoins des utilisateurs ne pourront être couverts en totalité en Europe (fig. 1). Une source compacte de neutrons produits par accélérateur (Compact Accelerator Neutron Source, ou CANS) offrirait une disponibilité de neutrons permettant de répondre en partie à ces besoins. Un CANS est constitué par un accélérateur linéaire intense de protons et d'une cible de production de neutrons (Be, Li) couplée à un modérateur. En Europe, plusieurs pays étudient des machines de type CANS : Allemagne (NOVA-ERA, HBS), Italie (LINUS), Espagne (ESS-Bilbao), France (SONATE).

Notre projet de CANS consiste à concevoir une telle installation pour la recherche et pour des applications industrielles. Les paramètres de la machine seront à affiner pour adresser au mieux les besoins des utilisateurs, dans la gamme :

- courant pic : 50-100 mA
- énergie : 20-50 MeV
- cycle utile > 4%

La machine sera exploitée pour la production de neutrons thermiques, modérés après la cible, mais les études porteront également sur l'utilisation des neutrons rapides avant modération voire du faisceau primaire de protons (multi-cibles). Elle sera composée par une source d'ions, une ligne de transport de basse énergie (LEBT), un quadripôle radiofréquence (RFQ), une ligne de transport de moyenne énergie (MEBT) et des structures accélératrices complémentaires, de type Drift Tube Linac (DTL) ou cavités CH. La définition du modérateur et de la cible ne seront pas traitées dans ce groupe de travail (cf section 3).

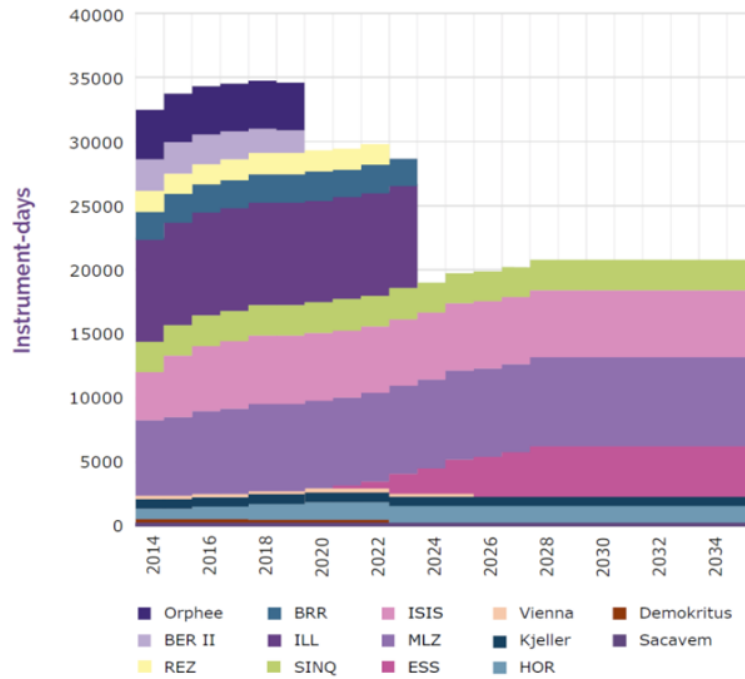


Fig. 1 : Baseline Scenario : The predicted delivery of instrument beam-days in the Baseline Scenario: ILL operates at full output until 2023, ESS with 22 instruments beyond 2028 (from [ESFRI]).

De structure classique, l'originalité du concept de cet accélérateur réside dans les paramètres de son optimisation. L'objectif est de concevoir un accélérateur de haute fiabilité dans l'optique de remplacer les réacteurs nucléaires, adaptable et peu coûteux pour faciliter le financement de sa construction et de son opération. Pour produire le Conceptual Design Report (CDR) de cette machine, les études se concentreront donc sur les aspects de :

- compacité,
- modularité (longueur du pulse, cycle utile, intensité, énergie),
- fiabilité et disponibilité de l'installation,
- efficacité de l'accélérateur, coûts de construction et d'exploitation.

Dans l'optique de maximiser la disponibilité de l'installation, la conception des composants critiques de l'accélérateur (RFQ, DTL/CH) sera reprise de projets existants: une étude comparative des linacs hadroniques de forte puissance (LINAC4, ESS, MYRRHA) sera effectuée afin d'identifier les structures les plus adaptées au projet. Les sources de puissance RF seront choisies pour maximiser la facilité d'opération, la fiabilité et minimiser les coûts. Des liens forts existent avec le projet « Reliability and efficiency of high power linacs » présenté dans le GT07 des présentes perspectives. Des travaux seront menés en collaboration avec ce projet pour optimiser les aspects de fiabilité et d'efficacité.

En plus des compétences sur les accélérateurs, le LPSC fort de son expertise de longue date dans la production de neutrons par accélérateur, exploite actuellement deux petites machines de productions de neutrons rapides : l'une pour une maquette d'ADS en Belgique [GENEPI3] et l'autre pour la plateforme de neutrons rapides du LPSC, GENESIS [GENESIS].

### 3. Développements associés, calendrier et budget indicatifs

Les travaux envisagés dans le cadre de la conception d'un accélérateur de type CANS peuvent être structurés comme suit :

1. **Détermination des paramètres classiques (énergie, intensité, structure temporelle)**
  - a. Analyse des besoins des utilisateurs des neutrons
  - b. Intégration des contraintes liées à la production de neutrons (cible et modérateur)
2. **Choix des éléments de l'accélérateur**
  - a. Analyse de l'état de l'art des linacs hadroniques de forte puissance (LINAC4, ESS, SNS, MYRRHA,... )
  - b. Choix de structures accélératrices pour le linac
  - c. Choix de sources de puissance RF
3. **Proposition de design pour l'accélérateur**
  - a. Simulations globales de dynamique de faisceau avec transport vers lignes expérimentales
  - b. Analyse de fiabilité par implémentation de modèles (commun projet « Reliability and efficiency of high power linacs »)
  - c. Maximisation de l'efficacité énergétique de l'accélérateur (commun projet « Reliability and efficiency of high power linacs »)
  - d. Évaluation des coûts de construction et d'exploitation
  - e. Définition de la conception : rédaction du CDR

Pour la phase de conception, une durée estimative de 5 ans est envisagée. Si elle était financée, une telle machine pourrait être construite en une dizaine d'années.

En 2019, des discussions ont été amorcées par le LPSC sur ce projet avec l'ILL, le CEA IRFU Saclay et le LLB. Une collaboration avec le CEA-IRFU est à envisager, compte tenu des développements en cours sur le projet SONATE.

Un projet européen (call H2020-INFRADEV-2018-2020 "Development and long-term sustainability of new pan-European research infrastructures », deadline : 12-11-2019) est en cours de montage sur le design d'une source de type CANS à l'échelle européenne. Ce projet, CANS4E, est porté par ESS-Bilbao. Il regroupe des partenaires européens du domaine (CNRS, CEA, ESS Bilbao, FZJ, INFN, PSI, ...). Son lancement espéré en mars 2020, pour une durée de 3 ans.

La définition du modérateur et de la cible ne seront pas traitées dans ce projet, mais des liens devront être tissés avec des experts de ces deux domaines afin d'adapter la conception de l'accélérateur, notamment la détermination de l'énergie optimale pour le faisceau. Pour la cible, des essais de prototype à basse puissance faisceau sont en cours auprès d'IPHI à Saclay. Dans le projet CANS4E, plusieurs études se consacreront aux développements de cible pour déboucher sur la conception d'une cible de Be pouvant supporter une puissance de 200 kW (ESS-Bilbao, FZJ, INFN). Le modérateur sera étudié dans le cadre du projet européen, ainsi que

les instruments neutrons. Des discussions ont également été amorcées par le LPSC pour une collaboration avec l'ILL sur la conception du modérateur. Enfin, une demande ANR PRCI est en cour de préparation avec le LLB et le FZJ pour tester des modérateurs froids et ultra-froids auprès de GENESIS.

#### **4. Impact**

Une installation de type CANS offrira une source de production de neutrons pour différents types d'applications, dont le besoin est avéré tant pour la recherche que pour les industriels. Au vu de la fermeture programmé des réacteurs, l'exploitation d'une telle source de neutrons semble essentielle pour effectuer des expériences, mais aussi pour préparer des expériences auprès d'ESS, qui seront très coûteuses.

L'optimisation proposée ici pour la conception d'une machine classique pourrait permettre de faciliter sa construction, voire d'étendre l'implantation de son design au niveau européen. L'intégration des contraintes sur la fiabilité de l'installation dès sa conception sera le garant de la disponibilité requise pour les utilisateurs.

L'accent donné sur l'amélioration de l'efficacité de la machine et le recyclage de l'énergie lorsque cela est possible (par exemple, comme dans le cas d'ESS avec le recyclage de la chaleur produite par les klystrons) aura un impact sociétal par une meilleure utilisation des ressources.

Enfin, une fois son commissioning achevé, cette machine pourrait également fournir une plateforme d'essai et permettre de collecter des données sur les faisceaux hadroniques intenses pour les études des phénomènes de charge d'espace et les diagnostics de faisceau. Elle pourrait servir de plateforme expérimentale pour des travaux de thèses, voire des travaux pratiques pour la formation d'étudiants dans le domaine des accélérateurs.

#### **Références**

[ESFRI] Neutron scattering facilities in Europe, Present status and future perspectives, ESFRI report 2017

[ILL] <https://www.ill.eu/fr/>

[LLB] <http://www-llb.cea.fr/>

[GENEPI3] <http://lpsc.in2p3.fr/index.php/fr/groupe-de-physique/accelerateurs-et-sources-d-ions/activite-recentes-pole>

[GENESIS] <http://lpsc.in2p3.fr/index.php/fr/peren-energie-nucleaire>