

---

# Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

## *Accélérateurs et instrumentation associée*

---

### VERS L'INSTRUMENTATION SUR ACCELERATEURS DE 2030

---

#### **Auteur principal**

Nom : DELERUE Nicolas

Affiliation : LAL

Email et coordonnées : delerue@lal.in2p3.fr

#### **Co-auteurs**

*(liste des noms et affiliations)*

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 :** Vers l'instrumentation sur accélérateurs de 2030

**Acronyme :** (optionnel)

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

*Les besoins en instrumentation et diagnostics faisceaux dont amenés à évoluer au cours de la prochaine décennie, à la fois pour s'adapter aux besoins des futurs accélérateurs mais aussi pour profiter des évolutions technologiques récentes des technologies de l'industrie 4.0.*

*Les futurs accélérateurs seront plus puissants avec un taux de répétition plus grand et des faisceaux plus petits. Il va donc falloir que les diagnostics actuels s'adaptent à ces défis. Pour répondre à ces défis, ils profiteront, entre autres, de l'arrivée de l'intelligence artificielle et de l'impression 3D.*

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

- ~~○ Physique des accélérateurs (nouveaux concepts machines, optique et dynamique des faisceaux...)~~
- ~~○ Sources de particules (électrons, positrons, muons, protons, ions lourds stables, ions radioactifs...) et cibles associées~~
- ~~○ Supraconductivité accélérateur (aimants fort champ, cavités SRF...)~~
- ~~○ Accélération plasma (électrons, ions...) et interaction lasers/faisceaux~~
- ~~○ Technologies RF innovantes (structures haut gradients, alimentations RF...)~~
- **Diagnostiques faisceau, instrumentation et contrôle intelligent**
- ~~○ Développement durable de la discipline (infrastructures technologiques, efficacité énergétique, fiabilité...)~~
- ~~○ Autre R&D spécifique : (préciser)~~

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

- Accélérateurs pour la physique nucléaire
- Accélérateurs pour la physique des particules
- Accélérateurs pour les sources de lumière ou de neutrons
- Accélérateurs pour les applications sociétales (santé, énergie, industrie...)
- ~~○ Autre : (préciser)~~

## **2. Description des objectifs scientifiques et techniques**

***(2 pages max incl. figures)***

Il est proposé de développer des diagnostics adaptés à des faisceaux plus petits, plus puissant et ayant un taux de répétition plus grand. Des diagnostics adaptés aux nouvelles techniques d'accélération seront aussi nécessaires. Un accent particulier, doit être mis sur la mesure de longueur des paquets de particules, grandeur souvent mal mesurée. Il est aussi proposé de valider la fabrication additive métal comme technologie utilisable dans les accélérateurs et de mieux comprendre la conception de diagnostics virtuels s'appuyant sur les données massives et l'intelligence artificielle.

Les physiciens accélérateurs Français seront cependant mis à contribution pour la conception, la réalisation de nouvelles machines à l'étranger ou pour d'autres communautés. On peut citer l'ESS, FAIR ou DUNE. En France, l'évolution de SOLEIL vers une émittance plus basse sera un défi qui occupera une partie de la communauté pendant une bonne partie de la décennie. Des machines plus petites liées aux applications sociétales et médicales des accélérateurs seront probablement construites. C'est aussi au cours de la décennie à venir que l'on espère que les premiers accélérateurs basés sur la technique d'accélération dans un plasma accueilleront leurs premiers utilisateurs.

Les instruments devront donc être capable de mesurer des faisceaux de plus en plus petits et de plus en plus puissants. Ils devront être capable de s'adapter à des machines subissant des fluctuations d'un tir à l'autre. En même temps, ils devront être capable de fournir l'information de plus en plus rapidement. Leur conception et leur fonctionnement devra s'appuyer sur les dernières évolutions technologiques, en particulier celles de l'Industrie 4.0 (fabrication additive, intelligence artificielle).

La mise au point de techniques de mesure de la longueur et la forme des paquets de manière aussi peu perturbatrice que possible doit être poursuivie. Dans les accélérateurs multi-passes cryogéniques et encore plus dans les linacs à récupération d'énergie (ERL) cette mesure permet de détecter les déformations des paquets d'électrons dues aux modes d'ordre supérieurs. Dans tous les anneaux une telle mesure permet de mieux estimer les effets liés à l'intensité (en combinaison avec la mesure de charge) du faisceau. Enfin sur tous les accélérateurs utilisant des phénomènes radiatifs cohérents, une telle mesure est importante pour prédire l'intensité de la radiation émise. Cette mesure est aussi utile dans de nombreux cas pour une bonne compréhension de la machine.

Il existe de nombreuses techniques de mesure de taille de faisceaux, cependant avec l'augmentation de la puissance des faisceaux les mesures de halo deviennent aussi importantes, afin de bien contrôler les pertes de particules, surtout dans les machines froides où celles-ci peuvent engendrer des quenches. Les groupes du LHC effectuent de

telles mesures en utilisant des hodoscopes. La maîtrise de cette compétence sera indispensable pour pouvoir construire une machine telle que PERLE.

Les nouveaux accélérateurs sont de plus en plus compacts et demandent des diagnostics de plus en plus compacts et précis. Les moniteurs de position (BPM) sont au cœur de l'instrumentation de nombreux accélérateurs. Une action visant à concevoir des BPM plus compacts et éventuellement à maîtriser la technologie des BPMs cavité permettrait de répondre aux exigences des machines du future dans le domaine de la mesure de position. Plus généralement, il est important de conserver une compétence forte et à la pointe en mesure de position de faisceaux et cela ne peut se faire que par un programme de R&D sur cette thématique.

La décennie à venir devrait voir la construction des premières machines basé sur l'accélération plasma (laser-plasma et faisceau-plasma). Ces machines demandent des diagnostics capables de faire des mesures en un tir unique avec des charges relativement basses. Il faut aussi que ces diagnostics soient capables de faire des mesures sans être gênées par le faisceau pilote.

Afin d'améliorer la stabilité des faisceaux des boucles de rétroaction de plus en plus performantes devront être utilisées. La mise au point de ces boucles devra se faire en étroite collaboration avec les diagnostics qu'elles liront. Ces boucles permettront de corriger les dérives en position et en phase dans l'accélérateur.

Au-delà des simples rétroactions, les techniques d'intelligence artificielles devraient permettre une meilleure compréhension du faisceau. Des résultats récents montrent qu'avec des algorithmes d'intelligence artificielle il est possible de concevoir des diagnostics virtuels se basant sur des mesures à certains points pour déduire des valeurs à d'autres points. Les algorithmes d'intelligence artificielle sont aussi capables de mieux optimiser certains processus de réglage de la machine. Un part de plus ne plus grande devra leur être accordée lors de la décennie à venir.

La fabrication additive et en particulier la fabrication additive métal peuvent aider à la conception de composants pour accélérateurs plus rapidement ou avec des propriétés particulières. Des travaux initiaux ont déjà eu lieu et la France est en pointe dans ce domaine. Il sera important de continuer cet effort.

Enfin, pour tous ces développements il faudra avoir accès à des machines (leptoniques et hadroniques) permettant de tester en faisceau les diagnostics et instruments nouvellement conçus.

### **3. Développements associés, calendrier et budget indicatifs** *(1 page max. incl. figures)*

Les développements proposés ici devront s'adapter aux machines disponibles (ou accessibles) à l'IN2P3 et surtout aux besoins de ces machines. Les propositions ici pourront évoluer et s'adapter à d'autres machines selon les choix qui seront fait au cours de la décennie à venir.

Mesure de profils longitudinaux : Après avoir été validé sur une machine leptonique ce diagnostic doit être validé sur des machines hadroniques (par exemple ESS ou MYRRHA) pour une application à de telles machines. Une campagne de validation coûte environs 60k€ (réalisation de la chambre à vide et achat des détecteurs associés) et demande environs 40 semaines.personnes de mission sur le site expérimental. La durée du développement est d'environ deux ans pour la conception de la chambre (avec un demi ETP ingénieur et un quart de ETP chercheur pendant cette phase) et ensuite d'un à deux ans de campagne expérimentale (selon les dates de temps faisceau obtenu) 0,5 de ETP.an chercheur pendant cette période. Il serait envisageable de faire deux à trois développements de ce type dans la décennie selon l'expression des besoins des machines partenaires de l'IN2P3. Un premier développement pourrait commencer en 2021.

Les développements proposés sur les BPM (acquisition de la compétence BPM cavité) demanderait environ 40k€ d'équipement et 10-20k€ pour de la construction mécanique (avec accès à des équipement de précision dans un atelier mécanique). L'acquisition de la compétence demanderait une demi année d'ETP chercheur appuyé par deux années ETP d'ingénieur réparti entre un ingénieur mécanicien et un ingénieur électronicien hautes fréquences. Cela demanderait aussi 6 semaines.personne en missions en Europe pour rencontrer des personnes ayant déjà cette compétence. L'installation d'un tel système sur un site sera dépendant de l'envergure du besoin mais serait de l'ordre 15 à 20 missions.personne sur le site et 25k€ de réalisations mécaniques et électroniques par BPM demandé.

Une campagne expérimentale de développement de diagnostics laser-plasma est en cours de discussion dans le cadre de la suite projet EuPraxia. Une telle campagne demanderait entre un demi et un ETP chercheur accompagné d'un demi ETP ingénieur. Chaque mesure demanderait 10 à 20k€ de réalisations (principalement mécaniques) et 8 à 10 semaines.personnes de mission sur site. Cette campagne pourrait démarrer dès le second semestre 2020.

Les développements liés à l'intelligence artificielle vont monter en puissance au cours de la décennie. Cela va par l'exploration de plusieurs pistes à faible fraction du temps d'un ou plusieurs chercheurs pour monter à un ou deux ETP en fin de décennie. Pour l'impression 3D, pour chaque développement il faut compter 20k€ à 50k€ accompagné de 0,5 à 1 an ETP d'ingénieur et 0,25 à 0,5 an chercheur pour la validation du développement. Pour ces deux développements, l'accès à un accélérateur de test est primordial. De tels travaux peuvent commencer dès maintenant et se poursuivre tout au long de la décennie.

#### **4. Impact**

***(0.5 page max.)***

*Décrire les retombées espérées pour le développement de futures installations de recherche basées sur des accélérateurs ou pour d'autres applications sociétales.*

*Le cas échéant, préciser les partenariats industriels envisageables.*

Les diagnostics sont les yeux des opérateurs quand ils règlent les machines. Des diagnostics plus performants permettent de mieux voir ce qui se passe et donc de mieux régler la machine. Avoir l'aide d'intelligence artificielle peut être précieux pour un réglage plus précis ou plus rapide. Des instruments profitant des derniers développements en matière de conception mécanique permettent de construire la machine plus rapidement, moins cher et avec des fonctionnalités plus adaptées. Un meilleur réglage de la machine permet aussi de minimiser les pertes et donc l'activation autour de la machine.

#### **Références**