

Synthèse du Groupe de travail

Accélérateurs et technologies associées

1. Présentation de la thématique

Les accélérateurs conjointement aux détecteurs de particules, sont les principaux instruments utilisés en physique subatomique. La physique et la technologie des accélérateurs forment une discipline scientifique visant à produire des faisceaux de particules chargées avec des caractéristiques spécifiques, utilisées comme sondes en recherche fondamentale ou appliquée sur les thématiques scientifiques de l'IN2P3 (physique nucléaire et physique des particules) et sur un large spectre de disciplines scientifiques (physique de la matière condensée, matériaux, énergie, biologie) ou d'applications (médecine, énergie et industrie).

Dans le cadre du projet de refondations des laboratoires de la vallée, la thématique 'accélérateurs et technologies associées' concerne majoritairement le LAL et l'IPNO. Ces deux laboratoires sont reconnus internationalement pour l'étude, la conception, la réalisation et l'intégration d'accélérateurs. Leurs activités se complètent aujourd'hui pour couvrir les besoins en accélérateurs leptoniques et hadroniques, basés sur les technologies chaude et supraconductrice. A eux deux, ils disposent aujourd'hui d'un effectif de 123 personnes entre ITA, chercheurs et doctorants, travaillant sur la physique (théorie, sources, cibles, modélisation, calculs) et les technologies des accélérateurs (structures accélératrices, cryogénie, diagnostics, RF), ainsi que sur les technologies associées (mécanique, électronique dont l'électronique de puissance, vide et traitement de surface, optique).

2. Contexte

L'IPNO, le LAL ainsi que le CSNSM disposent de plateformes technologiques de grande envergure (SUPRATECH, Coupleurs) et opèrent localement plusieurs accélérateurs leptoniques et hadroniques (PHIL, ALTO, SCALP). Ce parc d'accélérateurs s'est renforcé aujourd'hui avec la prochaine mise en service de nouveaux équipements à vocation pluridisciplinaire (Equipex Andromède et ThomX) ainsi que la construction de PRAE, un projet emblématique du labex P2IO. Ils collaborent aussi au fonctionnement d'autres accélérateurs du campus (CLIO, Elyse). L'IPNO et le LAL ont eu un rôle majeur dans la construction du LEP (Linac) et du LHC (Sections droites courtes et étalonnage de ~7000 thermomètres cryogéniques). Ils ont largement contribué à la R&D technologique pour les prochains collisionneurs leptoniques linéaires (ILC, CLIC) : 1) construction de l'injecteur de TTF dont le cryomodule de capture, 2) participation à la conception et au conditionnement RF des coupleurs prototypes pour TTF3 installés sur FLASH à DESY, 3) participation au projet européen CARE (Coupleurs de puissance et Système d'accord à froid piézoélectriques), 4) participation à l'obtention de tailles et stabilisation du faisceau nanométrique à ATF2. Enfin le LAL a assuré la production de la totalité des 800 coupleurs du XFEL. Cette expérience a permis d'acquérir des compétences et une expérience unique en production de masse en vue d'une contribution significative à l'ILC. Les équipes du LAL sont aussi très impliquées dans la construction d'une source de lumière compact « ThomX » et ils participent à la conception de sources de lumière de 5^{ème} génération (Lunex5). D'autre part l'IPNO joue un rôle majeur dans la conception et la construction de LINACS hadroniques à très haute

intensité : 1) IPHI: mécanique et vide, RF bas niveau et diagnostics, 2) Spiral2 : cryomodules haute énergie, réfrigération, boîtes froides et distribution cryogénique, BPM et dynamique des faisceaux, 3) ESS: Linac spoke, cryomodules avec leurs boîtes froides, distribution cryogénique, instrumentation cryogénique, contrôle commande, four de dégazage hydrogène, 4) Fair : RF de puissance, 5) MYRRHA : Linac spoke, BPM et dynamique des faisceaux. Ces contributions confirment notre potentiel pour être un acteur majeur dans la conception et la construction de futurs collisionneurs tels que l'ILC, CLIC ou le FCC. En France, la R&D sur les nouvelles techniques d'accélération de particules dans le champ de sillage d'un laser dans un plasma est principalement concentrée dans le périmètre de l'Université Paris-Saclay, en particulier autour de l'EQUIPEX CILEX. La collaboration entre l'IPNO et le LAL a été très variable dans le temps: elle était très importante dans la période 1995-2007 (TTF, CARE) et connaît maintenant un renouveau via la plateforme PANAMA financée par P2IO et du projet PRAE. Il serait souhaitable de renforcer cette collaboration autour d'un laboratoire technologies du vide et surface commun et l'étendre pour la R&D cavités et coupleurs, RF de puissance, RF bas niveau, dynamique faisceau, diagnostics des faisceaux notamment sur les futurs projets (MYRRHA, PERLE).

3. Objectifs

Les accélérateurs du futur posent 3 défis technologiques majeurs: 1) Cavités supraconductrices à hautes performances fonctionnelles (champ accélérateur, pertes RF, stabilité du champ en phase et amplitude, stabilité en fréquence) et/ou faible coût, 2) Accélération laser-plasma, 3) Maîtrise des faisceaux extrêmes. La technologie des cavités supraconductrices en niobium massif (Nb) nécessite une amélioration des procédés de fabrication et de préparation et de traitement des cavités pour l'obtention systématique de forts gradients accélérateurs et de facteurs de qualité élevés sur des cryomodules accélérateurs complets. Par ailleurs, de nouveaux développements (couches minces à température critique plus haute (~15 K-45 K) ou multicouches composites nanométriques) sont nécessaires pour dépasser les limites intrinsèques du niobium. Le champ d'application s'élargit en y incluant les cavités déflectrices, les canons RF et les systèmes RF continus à haute fiabilité et fort rendement. Un autre axe de développement important est celui des machines continues d'hadrons de haute intensité, de fortes puissances (multi MW). La technologie d'accélération dans le champ de sillage d'un laser de puissance est très prometteuse quant à la production de faisceaux d'électrons et de hadrons de haute énergie avec des dispositifs compacts.

La construction d'accélérateurs de particules de haute intensité, de collisionneurs de forte luminosité, de sources de rayonnement synchrotron à la limite de diffraction ou d'accélérateurs laser-plasma, requiert le développement de concepts innovants en physique des accélérateurs. En particulier, la caractérisation expérimentale des faisceaux extrêmes (très petites tailles, courtes longueurs des paquets et de très haute intensité) constitue un défi.

La réponse à ces objectifs nécessite le développement ou la création de plateformes à des fins de qualification et validation expérimentale. Ces plateformes auront d'autres impacts directs ou induits : 1) favoriser le potentiel d'innovation/valorisation, 2) augmenter les synergies, 3) renforcer les collaborations existantes et de développer des projets transverses, 4) consolider le concept du prototype au composant industriel éprouvé, 5) Contribuer à la formation des étudiants (Master Grands Instruments et doctorants), techniciens, ingénieurs et industriels avec des équipes hautement qualifiées et multidisciplinaires.

A la lumière de ce qui précède, il se dégage quelques projets nécessitant le développement de techniques innovantes :

- Accélération laser-plasma à partir du laser multi-PW Apollon et des centrales de proximité associées (tests de structures accélératrices plasma variées, transport faisceau avancé, stabilisation du faisceau, accélération multi-étages, synchronisation et diagnostics ultra-brefs, etc.).
- Complexe accélérateur basé sur un linac supraconducteur électrons en mode standard ou ERL à électrons hautes performances (paquets de charge élevée, faible émittance, faibles pertes RF pour opération en mode CW) pouvant desservir plusieurs applications: R&D accélérateur et cavités, faisceau test pour détecteurs, source gamma jusqu'à 10 MeV.
- Accélérateur à haute fiabilité, type ADS.

4. Organisation de la thématique

La structure qui résultera du processus de consultation actuellement en cours n'est pas encore connue. Durant les discussions du groupe de travail 'accélérateurs', deux types de structures ont été abordées : 1) un regroupement des équipes 'accélérateurs' au sein d'une même unité, 2) une fédération avec les équipes restant dans des unités différentes. Ces deux hypothèses ont donc été considérées par le groupe de travail.

Dans le cadre d'un regroupement des équipes, la question se pose de l'opportunité d'une équipe (« département » ou « division ») accélérateurs au sein d'une nouvelle unité ou de la formation d'une unité mixte de recherche indépendante dédiée aux accélérateurs.

Un pôle complet au sein d'une grosse unité aurait d'une part l'avantage de conserver la proximité entre utilisateurs des accélérateurs et les groupes les concevant et d'autre part de conserver de l'ensemble de la structure administrative (dont financier, RH, missions, logistique, support infrastructure et informatique). Néanmoins, un pôle accélérateur dans une grande unité pourrait avoir l'inconvénient que le groupe aurait un poids scientifique diminué dans la nouvelle structure avec le risque de se voir imposer par les instances de l'unité la conception de machines insuffisamment matures.

Une unité de recherche indépendante aurait l'avantage de créer un pôle avec une cohérence scientifique forte et la possibilité de développer au sein de la structure une vision pour les activités de la thématique à Orsay, en accord avec la vision nationale de la direction de l'IN2P3. L'inconvénient serait un éloignement plus fort des utilisateurs historiques (physiciens des particules et physiciens nucléaires). Tout en restant sous la tutelle de l'IN2P3, une telle structure pourrait peut-être plus aisément élargir sa base et s'investir sur les besoins d'accélérateurs d'autres instituts (ex. avec l'INP pour LUNEX5) et ainsi lisser les fluctuations d'activité entre la construction de grands instruments pour la physique subatomique par des contributions à des sources pour d'autres thématiques (lumière, neutrons,...). Cette unité de recherche pourrait développer une culture plus proche de celle en œuvre d'autres laboratoires accélérateurs tels que SOLEIL, DESY ou le CERN. Le cas des chercheurs et ingénieurs ayant une activité en physique nucléaire ou physique des particules en plus de leur recherche sur les accélérateurs a été évoqué. Cette configuration les obligerait néanmoins à choisir une unité de rattachement, tout en effectuant une partie de leurs recherches dans l'autre unité, ce qui n'est pas sans effet de bord.

Le cas où la nouvelle structure serait une fédération de laboratoires a aussi été envisagé. Dans ce dernier cas, il apparaît important au groupe de travail qu'une coordination des équipes des accélérateurs avec une vision scientifique à court et long terme soit mise sur pied, en accord avec la vision nationale de la direction de l'IN2P3 et des autres tutelles.

Pour toutes les configurations, le conseil scientifique doit jouer pleinement son rôle à jouer, notamment en développant avec les acteurs une vision cohérente pour les accélérateurs. Naturellement, et pour des raisons d'efficacité, le démarrage des nouveaux projets d'accélérateurs (cœur de thématique IN2P3 et extérieures) doit pouvoir se faire lorsque leur niveau de maturité est suffisant.

Dans tous les cas de figure, une gestion de l'ensemble des personnels (quelques soit les statuts) consciencieuse est nécessaire afin de lisser les évolutions durant la phase transitoire de mise en place et consolidation de la nouvelle structure. De même, une réflexion particulière sur les recrutements (université et CNRS) doit être menée afin d'assurer la pérennité de la visibilité de la thématique et son approfondissement notamment à travers des collaborations internationales.

Les plateformes utilisant des accélérateurs ont été évoquées dans ce groupe de travail mais il a été clarifié qu'elles sont en dehors de son champ de compétence. Néanmoins, ce sujet pourrait être traité dans une phase ultérieure avec un rapprochement avec le groupe de travail plateforme.

La question du support technique a aussi été abordée sans préjuger des conclusions ou recommandations des groupes de travail correspondant. Il semble très important que les groupes accélérateurs aient accès aux services techniques dont ils sont d'importants utilisateurs. Dans le cas où on adopterait une structure séparée avec les équipes accélérateurs, cette structure doit nécessairement héberger certains services techniques (mécanique, contrôle commande, électronique de puissance...) dans un pôle de haute technologie afin de disposer de l'ensemble des métiers et de leurs spécificités dédiés à la thématique.

Le périmètre proposé pour la réorganisation des laboratoires a aussi été discuté. Ce périmètre est lié à des contraintes géographiques (groupes de la vallée) et institutionnelles (groupes dépendant de l'IN2P3). Il a été noté la présence d'autres groupes accélérateurs mais hors de ce périmètre dans la vallée (LCP et LPGP) et sur le plateau (SOLEIL et CEA/IRFU).

Scientifiquement, le département 'accélérateurs' du LAL a des collaborations fortes avec SOLEIL et l'accélérateur CLIO du LCP ainsi qu'avec d'autres groupes hors de Paris-Saclay. Le LAL collabore aussi avec le LPGP, le LCP et l'IRFU sur l'accélération laser-plasma. La division 'accélérateurs' de l'IPN, à quant à elle, des collaborations fortes surtout avec l'IRFU ainsi qu'avec d'autres groupes hors de Paris-Saclay. Ces collaborations sont nettement plus importantes que celles qui existent aujourd'hui entre les équipes 'accélérateurs' du LAL et de l'IPN. Une meilleure cohérence serait peut-être obtenue si ce périmètre était élargi à l'ensemble des activités 'accélérateurs' de P2I.

5. Formation et valorisation

La thématique accélérateur est largement impliquée dans les enseignements à tous les niveaux (DUT, L3, Master et ED). Ses acteurs, en liaison avec les plateformes contribuent à l'enrichissement des formations. Les enseignements sont assurés aussi bien par les enseignants chercheurs mais également par les chercheurs et IT qui compose la thématique. Il en va de même pour les encadrements de thèse.

Sur le volet de la valorisation pour la thématique accélérateur, en liaison avec les directions d'unité, il doit être trouvé un mode opératoire approprié afin d'exploiter au mieux les R&D, réalisations et conceptions sur le sujet.

6. Eléments statistiques, indicateurs

L'analyse du graphique d'évolution des effectifs de la Division Accélérateurs de l'IPNO (cf Fig. 1) sur 10 ans montre que : 1) une réduction globale de 16% des RH en particulier auprès de l'exploitation d'ALTO, 2) les courbes ne sont pas régulières avec des diminutions plus importantes en 2007, 2011 et 2014, 3) une lente décroissance des effectifs du groupe cible. Les pyramides des âges (Fig. 2) comparées pour le DEPACC du LAL et la DA de l'IPNO sont très similaires avec une majorité des personnels d'âges supérieurs à 40 ans. Les évolutions des effectifs pour le domaine des accélérateurs montrent néanmoins des différences entre les 2 laboratoires (cf. Fig. 3) car l'histoire de la structuration autour des accélérateurs dans les deux unités n'est d'une part pas la même mais également les effectifs de l'IPN incluent ici ceux du pôle ALTO qui a vu une nette inflexion ces dernières années. Il doit être noté que les données IPN n'incluent pas ici les effectifs CDD, post-doctorants et doctorants.

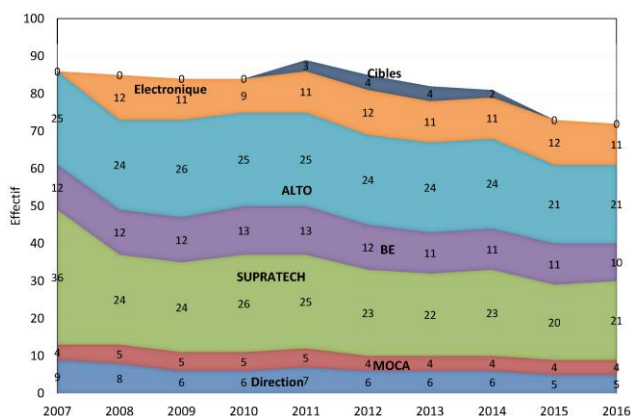


Figure 1 : Evolution des RH par groupe métier de la DA-IPNO

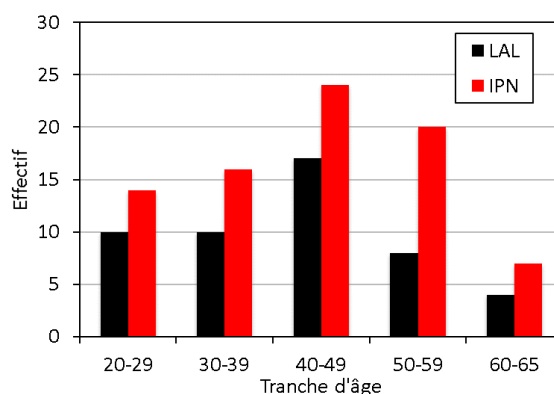


Figure 2 : Pyramide des âges du DEPACC-LAL et de la DA-IPN

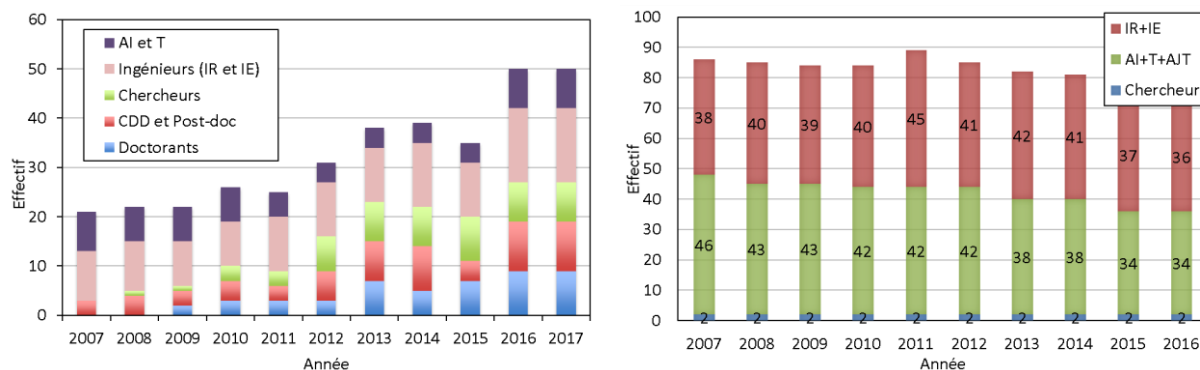


Figure 3 : Evolution des effectifs pour le LAL (à gauche) et l'IPN (à droite)

Une tentative d'analyse SWOFT (Forces, faiblesses, opportunités et menaces) a également été abordé dont il est repris ci-dessous quelques un des éléments de réflexions.

<p>Forces :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projets internationaux, nationaux et locaux <ul style="list-style-type: none"> - Participation à la fois dans la conception et la réalisation des projets accélérateurs (ILC-CLIC, XFEL, FCC, FAIR, ESS, MYRRHA, SPIRAL2...), - Existence des accélérateurs et plateformes locaux en fonctionnement, en construction ou à l'état de proposition (ALTO, SUPRATECH, IPHI, XFEL, PHIL, CILEX, IGLEX : ThomX, Andromede et PRAE, MYRRHA, PERLE...) • Equipes <ul style="list-style-type: none"> - Equipes pionnières et multidisciplinaires (canons RF, RF supraconductrice, Linac hadroniques Haute Intensité, Cryogénie, Sources gamma, source positrons, source d'ions, accélération laser-plasma...), gestion échelle industrielle de la RF supraconductrice cryomodules et assurance qualité. - Culture collaboration ingénieur/chercheur et gestion de projet - Plus grande communauté de Physique des Accélérateurs en France (en incluant l'IRFU et SOLEIL). • Enseignement <ul style="list-style-type: none"> - Formation de doctorants et Master 2 : « Grands Instruments » - Possibilité de stages et Travaux Pratiques • Relations industrielles <ul style="list-style-type: none"> - Existence de liens avec les industriels (THALES, Sigmaphi, Alstom, Alsyom...) 	<p>Faiblesses :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problème de coordination <ul style="list-style-type: none"> - Pas de vue d'ensemble - Dispersion des équipes - Duplication de plateformes - Impact global de la communauté accélérateur de P2I très faible • Recrutements <ul style="list-style-type: none"> - Peu de recrutements, peu de permanents et postes à l'Université - Groupes techniques sous dimensionnés pour assurer les projets internationaux, nationaux et locaux - Faible mobilité • Enseignement <ul style="list-style-type: none"> - Faible part d'enseignants chercheurs - Faible nombre de thèses - Très faible nombre d'HDR sur les accélérateurs. - Peu de plateformes de tests permettant d'accueillir des étudiants • Exploitation <ul style="list-style-type: none"> - A part quelques plateformes récentes les autres moyens sont disséminés et peu ouvertes et adaptées aux utilisateurs extérieurs - Méconnaissance et sous exploitation des moyens disponibles chez les industriels.
<p>Opportunités :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projets internationaux, nationaux et locaux <ul style="list-style-type: none"> - Contribution majeure dans plusieurs nouveaux projets globaux et réseaux européens (HL-LHC, EUCARD2, EuroCircol, EuPRAXIA, ARIES, AMICI...) et plateformes locales en construction - Liens forts avec les grands labos au niveau 	<p>Menaces :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipes : Diminution des moyens humains et perte de savoir-faire technique sur certaines expertises • Salaires peu compétitifs par rapport à ceux de l'industrie, et des instituts de recherche et labos étrangers

<p>international (CERN, DESY, KEK, Fermilab, SLAC, IHEP....)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Développement de projets transverses dans le domaine de l'énergie et la santé - Renforcer les liens avec les industriels • Le nouveau laboratoire pourrait jouer un rôle majeur pour renforcer les collaborations existantes, la mutualisation efficace des ressources et la coopération avec les industriels. • Favoriser des projets ciblés pour des études de concept et des technologies de « haut risque ». • Très fort vivier d'étudiants brillants à l'UPSay 	<ul style="list-style-type: none"> • Projets - Inadéquation entre les offres à court terme (3-5 ans) et la durée réelle des projets. - Temps passé à répondre à des appels d'offre pour des retours peu importants - Gérer les contrats devient de plus en plus contraignant, complexe et donc chronophage, demandant des ressources humaines de type ingénieur projet
--	--