**Source** : Stratégie unifiée de recherche Département P2I, Université Paris-Saclay (15/03/2017)

**Attention** : Les laboratoires P2I impliqués dans cette thématique sont : IPNO, LAL, IRFU/SACM, IRFU/SIS, SOLEIL et LCP. Le Département P2I regroupe environ 1500 personnes réparties sur 16 unités pilotées par 4 tutelles : CEA, CNRS, École Polytechnique, Université Paris-Sud.

**I - Etat de l’art / Défis :**

Accélérateurs et technologies associées

Du fait des énergies qu'elle entreprend d'étudier, la physique subatomique repose sur un outil de base, l’accélérateur de particules. La physique et la technologie des accélérateurs forment une discipline scientifique qui vise à produire des faisceaux de particules chargées au service d’applications très diverses en physique des particules et physique nucléaire et d’applications spécifiques dans les domaines de la santé, de l’énergie et de l’industrie.

Les laboratoires rattachés à P2I sont leaders en France et reconnus internationalement pour la conception et la réalisation d’accélérateurs utilisant les technologies dites chaudes ou celles supraconductrices. Dotés de plateformes technologiques de grande envergure (SUPRATECH et Synergium en particulier) et opérant localement plusieurs accélérateurs (ALTO, CLIO, Elsa, Elyse, SCALP/JANNuS-Orsay, PHIL, SOLEIL), ils jouent un rôle majeur dans les projets de construction des accélérateurs internationaux de très haute énergie recouvrant un rôle crucial dans la construction du LHC, la conception du future FCC et le développement de la technologie pour les futurs collisionneurs linéaires. La participation à la production des coupleurs et à l’intégration des cryostats pour le projet XFEL est un exceptionnel banc de test pour l’ILC. Dans le cadre de CLIC, il faut rappeler la plateforme de test de canon de forte brillance PHIL et le design de la source de positrons. Les laboratoires P2I sont aussi très impliqués dans la réalisation et l’utilisation des sources à très forte brillance comme SOLEIL et dans la conception de sources de lumière de 5ème génération (Lunex5). Ils jouent également un rôle majeur dans les projets accélérateurs de protons à très haute intensité (Iphi, Spiral2, Ifmif, ESS, Fair, …).

Notons aussi que les accélérateurs servent d’autres domaines que la physique subatomique, tels que par exemple, l’énergie, le nucléaire, les matériaux, la biologie et le médical. C'est aussi le cas pour les accélérateurs d’électrons et notamment pour l’interaction électrons/laser (Equipex ThomX, ELI-NP). Les accélérateurs de basse énergie tels que ceux utilisés sur la plateforme SCALP/JANNuS-Orsay sont dédiés à ces études, et verront leur potentiel applicatif augmenté à travers l’extension de la plateforme, l’Equipex Andromède. Le synchrotron SOLEIL a été totalement conçu et réalisé par les équipes de P2I et leurs collaborateurs. Ses lignes de lumière sont utilisées dans des applications diverses et variées notamment dans la santé et l’énergie.

En France, la R&D sur les nouvelles techniques d’accélération de particules par laser est concentrée dans le périmètre de l’Université Paris-Saclay. Plusieurs équipes de P2I sont impliqués dans Cilex avec son laser multi-PW Apollon, ses centrales de proximité et ses expériences associées portées par le Département PhOM.

Les équipes de P2I ont joué un rôle central dans la construction des aimants des détecteurs ATLAS et CMS du LHC. Les projets de jouvence en luminosité et énergie du LHC, sont demandeurs de champ magnétiques important pour les aimants. L’expertise du Département P2I dans ce domaine est mondialement reconnue et une intense activité de R&D est menée pour atteindre des champs aussi importants que 16 T, qui requièrent des projets tels que FCC. Ces développements s’accompagnent de la mise à niveau et une évolution permanente des stations d’essais. Cette expertise dans les aimants supraconducteurs ne se limite pas aux accélérateurs et joue un rôle dans des grands instruments de détection, d’imagerie et de fusion nucléaire. Elles ont aussi conduit d’autres projets d’envergure, tels que l’aimant d’IRM 11,7 T d’Iseult qui sera installé sur la plateforme Neurospin, et les tests à froids de bobines de réacteurs de fusion tels que Tore-Supra et W7X. Ainsi, le développement d'équipements de protection d'aimants de plus en plus complexes, de circuits de puissance très stables et de la supervision associée nourrissent la vision système des laboratoires de P2I.

**II – Stratégie de P2I pour les accélérateurs :**

Quatre défis technologiques majeurs se posent au Département P2I pour les accélérateurs et les aimants : les nouvelles générations d’aimants et de cavités supraconducteurs, l’accélération laser-plasma et la maîtrise des faisceaux extrêmes.

Les futurs projets de physique et notamment d’accélérateurs, sont demandeurs d’aimants avec des champs magnétiques de plus en plus importants ou des dimensions exceptionnelles. Afin d’atteindre ces performances, l’usage des nouveaux matériaux supraconducteurs, alternatif au classique nobiumtitane, tels que le niobium-étain au-delà de 12 T, les supraconducteurs à haute température critique (BSCO, YBCO) au-delà de 23 T, est incontournable et devra s’accompagner de développement de systèmes de protection adaptés prenant en compte la propagation spécifique du quench. La taille de ces projets nécessite aussi d’optimiser dès la conception leur coût de réalisation et de fonctionnement. Ce dernier point nécessite notamment le développement d’une cryogénie innovante sans ou avec peu d’hélium, augmentation de la température de fonctionnement avec l’utilisation de nouveaux conducteurs comme le MgB2.

La technologie des cavités supraconductrices nécessite une amélioration des procédés de fabrication et de préparation 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 sont nécessaires pour dépasser les limites intrinsèques du niobium massif en exploitant le potentiel de matériaux supraconducteurs. 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 la conséquence de l’essor des machines de hadrons de très forte intensité, qui fixent des challenges technologiques majeurs liés aux fortes puissances.

Parmi les nouvelles technologies pour produire et accélérer des particules, l’utilisation des lasers de puissance par impact direct sur la matière ou par excitation d’ondes plasma est à la fois la plus ambitieuse et la plus prometteuse en termes de production de faisceaux d’électrons et de protons de haute énergie par des dispositifs compacts.

La construction d’accélérateurs de particules de haute intensité, de collisionneurs de haute luminosité, de sources de rayonnement synchrotron à la limite de diffraction ou d’accélérateurs laser-plasma, requiert de porter la physique des accélérateurs vers de nouveaux développements conceptuels. En particulier, la caractérisation des faisceaux extrêmes est un défi étant donné les très petites tailles, les très courtes longueurs des paquets d’une part et les très hautes intensités d’autre part.

Pour satisfaire ces objectifs, le développement ou la création de plateformes dédiées apparaît nécessaire pour caractériser les différents prototypes ou techniques développés selon ces axes. Elles permettraient en outre :

* d’augmenter le potentiel d’innovation/valorisation,
* d’augmenter les synergies,
* de renforcer les collaborations existantes et de développer des projets transverses,
* de faciliter le passage du prototypage à la réalisation de composants éprouvés,
* de permettre aux étudiants (Master Grands Instruments), techniciens, ingénieurs et industriels de se former avec des équipes pionnières et multidisciplinaires,

En plus des plateformes existantes, il restera à définir le nombre et préciser les objectifs scientifiques et techniques de ces nouvelles plateformes. Certaines, déjà identifiées autour de projets porteurs existants au sein de Paris-Saclay, nécessiteront le développement de techniques innovantes :

* projet de laser à électron libre de 5ème génération (accélération supra continue, accélération plasma, onduleurs cryo, diagnostics ultrabrefs, schémas de seeding, supermatching, …)
* accélération laser/plasma à partir du laser multi-PW Apollon et 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.)
* capacités de caractérisations et réalisations (fils, bobinages, aimants) adaptées aux nouveaux aimants supraconducteurs (température variable, nouveaux dispositifs cryogéniques, comportements sous forte contrainte mécanique, …)
* complexe accélérateur basé sur un linac supra mode standard ou ERL à électrons hautes performances (paquets ultra-courts de charge élevée, faible émittance, fréquence de répétition élevée) pouvant desservir plusieurs applications: R&D accélérateur et cavités, faisceau test pour détecteurs, applications médicales, espace, driver pour Lunex5, source g jusqu’à 10 MeV.
* Un projet de source compacte de neutrons SONATE est à l’étude à Saclay, basée sur une source d’ions à haute intensité fonctionnant en mode pulsé jusqu’à plus de 20 MeV, Cette source pourra avantageusement remplacer la production de neutrons thermiques des réacteurs de recherche de taille moyenne.

**III – Analyse SWOT:**

Analyse SWOT :

|  |  |
| --- | --- |
| **Forces :**• Projets internationaux, nationaux et locaux- Participation à la fois dans la conception et la réalisation des projets accélérateurs (ILC-CLIC, XFEL, HL-LHC, FCC, FAIR, ESS, MYRRHA, SPIRAL2, IFMIF…), des projets sur l’énergie (JT60, W7-X, ITER), et des projets transverses santé (Iseult, Gantry, PET) avec des responsabilités majeures.- Existence des accélérateurs et plateformes locaux en fonctionnement, en construction ou à l’état de proposition (SOLEIL, LUNEX5, ALTO, SUPRATECH, IPHI, XFEL’s labs, PHIL, CILEX, IGLEX : ThomX, Andromede et PRAE….)• Equipes- Equipes pionnières et multidisciplinaires (RF guns, SCRF, Haute Intensité Ions linac, aimants SC, Cryogéniques, LEL, accélération laserplasma …), gestion échelle industrielle SCRF cryomodules et assurance qualité.- Culture collaboration ingénieur/chercheur et projet- Plus grande communauté de Physique des Accélérateurs en France.• Enseignement- Formation de doctorants et Master 2 : « Grands Instruments » et « Fusion »- Possibilité de stages et Travaux Pratiques• Relations industrielles- Existence de liens avec les industriels(THALES, Sigmaphi, Alstom, Alsyom…) | **Faiblesses :**• Problème de coordination- Pas de vue d’ensemble- Dispersion des équipes- Duplication de plateformes- Impact global de la communauté accélérateurde P2I très faible• Recrutements- Peu de recrutements, peu de permanents etpostes à l’Université- Groupes techniques sous dimensionnés pour assurer les projets internationaux, nationaux e locaux- Faible mobilité• Enseignement- Faible part d’enseignants chercheurs- Faible nombre de thèses-Très faible nombre d’HDR sur les accélérateurs.- Peu de plateformes de tests permettantd’accueillir des étudiants• Exploitation- A part quelques plateformes récentes les autresmoyens sont disséminés et peu ouvertes etadaptées aux utilisateurs extérieurs- Méconnaissance et sous exploitation desmoyens disponibles chez les industriels. |
| **Opportunités :**• Projets internationaux, nationaux et locaux- 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 international (CERN, DESY, KEK, Fermilab, SLAC, IHEP….)- Développement de projets transverses dans le domaine de l’énergie et la santé- Renfoncer les liens avec les industriels• P2I 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 | **Menaces :**• 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• 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 |