



Société Française  
de Physique  
DIVISION ACCÉLÉRATEURS

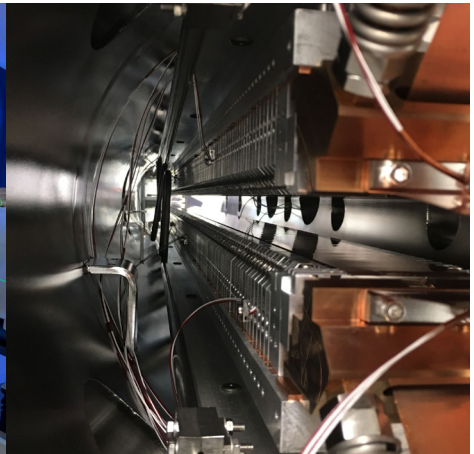
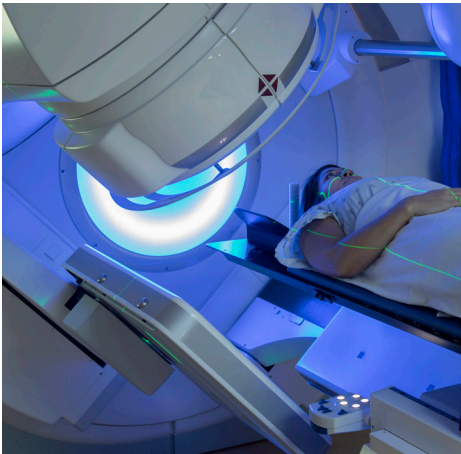
# Les activités Accélérateurs en France



©CERN



©ESRF



©SOLEIL

Impact et croissance dans le monde

Plus de **24 000** accélérateurs construits ces 60 dernières années pour produire des faisceaux appliqués à des procédés industriels

Près de **200** accélérateurs utilisés pour la recherche dans le monde pour un budget annuel de **1 €€**

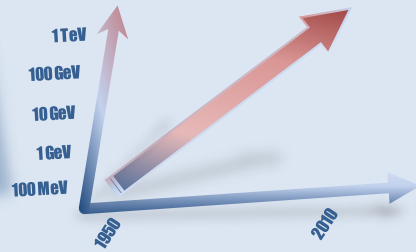
Plus de **10 000** accélérateurs dédiés aux thérapies par électrons, ions, neutrons ou rayons X

Plus de **400 €€** de produits finis fabriqués, stérilisés ou inspectés par an, à l'aide d'accélérateurs industriels dans le monde

Plus de **24 000** patients traités par hadron thérapie en Europe.

Données 2012 - Robert Hamm and M. Hamm "Introduction to the Beam Business" - Hadron therapy from PTCOG

Dans les 50 dernières années, 1/3 des Prix Nobel de Physique ont récompensé des recherches utilisant des accélérateurs



Croissance en énergie : x10 tous les 6 ans de 1930 à 2000 (Linscott)  
Croissance mondiale annuelle de l'activité : +10%

Des outils indispensables générateurs d'emplois

Effectifs techniques et scientifiques du CEA, CNRS et de deux grandes infrastructures nationales :



~300 emplois



~200 emplois



~80 emplois



~120 emplois

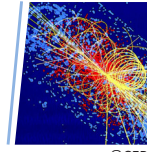
Industriels en lien avec le domaine des accélérateurs :

~2000 emplois

dans une trentaine de sociétés (grands groupes et PME) au niveau français

Physique des particules

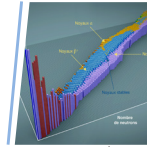
C'est au CERN sur le LHC (Large Hadron Collider) qu'a été mis en évidence le boson de Higgs.



©CERN

Physique nucléaire

Les accélérateurs sont des instruments clés pour explorer la physique du noyau.



©CEA/Animeau

» Recherche

Physique nucléaire

Physique des particules

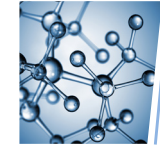
Physique du solide et de la matière condensée

Chimie

Biologie

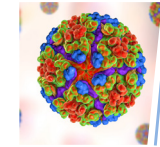
Géophysique

Astrophysique



Recherche sur les matériaux

Un faisceau de particules est l'outil indispensable pour étudier la matière à l'échelle atomique.



Modélisation de protéines

La lumière synchrotron permet d'élucider la structure 3D des protéines comme celle du virus Chikungunya.

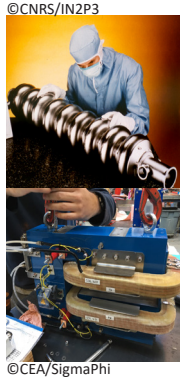
» Industrie - médecine - sécurité - énergie - patrimoine...

Santé et médecine	Industrie et agro-alimentaire	Analyse et contrôle des matériaux	Perspectives
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traitement des cancers</li> <li>- Production de radio-nucléides pour l'imagerie médicale</li> <li>- Recherche sur les maladies émergentes</li> <li>- Recherche sur la résistance aux antibiotiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantation d'ions pour l'électronique</li> <li>- Durcissement de surfaces et de matériaux</li> <li>- Soudage et découpe</li> <li>- Traitement de déchets et de matériel médical</li> <li>- Stérilisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patrimoine culturel</li> <li>- Authentification d'œuvres d'art</li> <li>- Inspection de fret</li> <li>- Sécurité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie nucléaire plus propre et plus sûre</li> <li>- Technologies pour la fusion</li> <li>- Efficacité énergétique</li> <li>- Batteries vertes</li> </ul>
Hadronthérapie	Tomographie par émission de positrons (TEP)	Électronique	Matériaux
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traitement des tumeurs profondes par faisceaux de protons et d'ions lourds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production de radio-isotopes pour l'imagerie TEP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantation d'ions pour la fabrication des composants électroniques (puces, transistors)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durcissement par rayons X de matériaux composites plus légers et plus résistants</li> </ul>
Patrimoine culturel	Sécurité	Énergie et environnement	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse d'objets d'art et de vestiges antiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspection et contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle, traitement des gaz de combustion par faisceaux d'électrons pour élimination de polluants</li> </ul>	





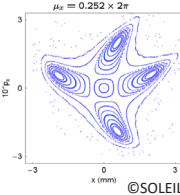
Physique des faisceaux



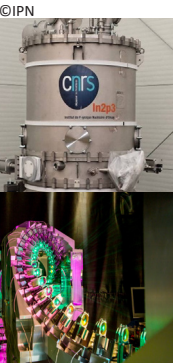
©CNRS/IN2P3

©CEA/SigmaPhi

**Dynamique de faisceau**  
 Mesures physiques  
**Simulation et calcul**  
**Electromagnétisme** Laser  
**Plasmas** Physique non linéaire  
 Interaction rayonnement matière



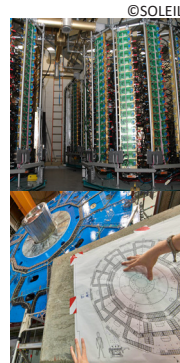
Domaines technologiques



©IPN

©Aisyom/CNRS/IN2P3

**Optique** Informatique Instrumentation  
 Mécanique de précision Technologie du vide  
 Chaudronnerie blanche Electronique  
 Contrôle commande Big Data Supraconductivité  
 Electronique de puissance Radiofréquence  
 Machine learning Traitement de données  
 Couches minces Cryogénie Synchronisation



©SOLEIL

©CERN

**Parcours technicien.ne** : DUT, BTS ou licence Pro

**Parcours ingénieur.e** : Licence ou Prépa, puis Master ou École d'Ingénieur

**Parcours chercheur.e** : Licence ou Prépa, puis Master ou École d'ingénieur, puis Doctorat

Formations spécialisées Accélérateurs - parcours recherche

**Université Paris Saclay : Master M2 Grands Instruments**

**Formation en physique et apprentissage de compétences expérimentales et techniques.** Ce M2 ouvre aux domaines de la recherche instrumentale en physique des accélérateurs de particules, des lasers de puissance et de l'interaction laser/matière à haute intensité, des tokamaks, des synchrotrons et des lasers à électrons libres, de leurs applications.



**JUAS (Joint University Accelerator School)**

JUAS a pour mission, au travers des universités partenaires, de former des étudiants dans les sciences, technologies et applications des accélérateurs de particules. Deux cours de 5 semaines sont organisés chaque année par l'Institut Scientifique Européen (European Scientific Institute - ESI), dispensés par des experts renommés des universités et laboratoires partenaires.



12 thèses de doctorat soutenues en moyenne par an



Liens avec l'industrie

- Les technologies clés des accélérateurs sont maîtrisées par un large panel de sociétés innovantes, PME et grands groupes industriels.

- La Division Accélérateurs de la **SFP** joue un rôle clé de facilitateur des relations entre partenaires industriels et scientifiques.

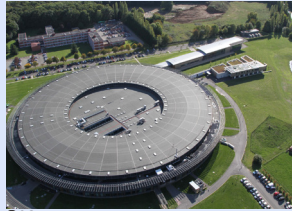
- L'association **PIGES** (Partenaires Industriels des Grands Equipements Scientifiques) a pour vocation de promouvoir les savoir-faire de ces sociétés et de renforcer leurs liens avec les laboratoires.



1 SOLEIL (Saint-Aubin)



Source de lumière synchrotron de 3ème génération (depuis 2006)



- Linac 100 MeV
- Booster 3 Hz
- Anneau de stockage 2,75 GeV
- Circonférence 354 m
- Basse émittance 3,7 nm.rad
- 29 lignes de lumière

©SOLEIL

2 ESRF (Grenoble)



Source de lumière synchrotron de 3ème génération (depuis 1994)  
Soutenue et partagée par 22 pays

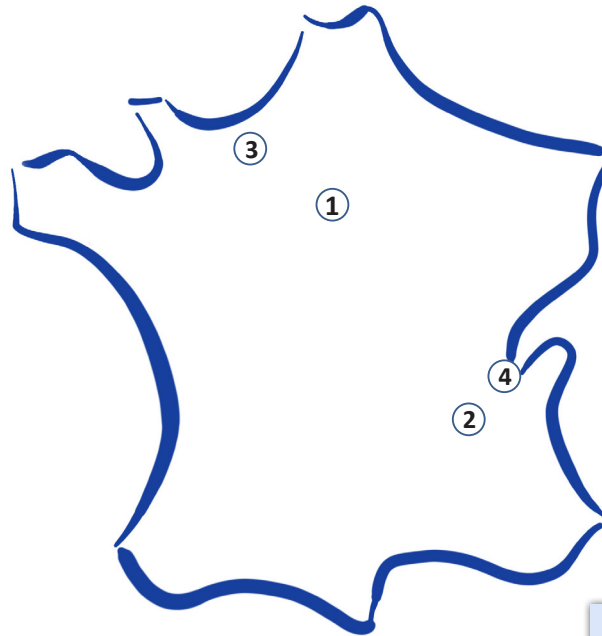


- Linac 200 MeV
- Booster 4 Hz
- Anneau de stockage 6 GeV
- Circonférence 844 m
- Emission horizontale 4 nm.rad
- 49 lignes de lumière

©ESRF

**Programme d'évolution :**

Phase 1 (2009 à 2015) Remise à niveau des lignes de lumière  
Phase 2 (2015 à 2022) Reconstruction de l'anneau de stockage avec une émittance horizontale de 130 pm.rad  
Arrêt décembre 2018 – retour utilisateur août 2020



2  
GRANDES  
INSTALLATIONS  
EUROPÉENNES

3 GANIL (Caen)



Installation dédiée à la recherche et aux applications industrielles utilisant des faisceaux d'ions.

Cinq cyclotrons  
5000 heures de faisceau par an  
3 faisceaux en parallèle, de 1 à 95 MeV/ nucléon



©GANIL

**SPIRAL 2 :**

Phase 1 (LINAC): accélération H+, D+ et ions  
Phase 2 : production d'ions radioactifs en projet

Implication CEA - CNRS - Industrie



4 CERN (Genève)



Un complexe unique au monde d'accélérateurs de particules pour repousser les limites de la connaissance de l'univers (fondé en 1954).

LHC : Large Hadron Collider  
6,5 TeV par faisceau  
Circonférence 27 km  
Température -271°C

**Complexe accélérateurs :**

une chaîne de machines qui accélèrent les particules à des énergies croissantes :

- Linac 2
- PSB : PS Booster
- PS : Proton Synchrotron
- Quatre détecteurs : ALICE, ATLAS, CMS et LHCb
- AD : Décélérateur d'antiprotons
- ISOLDE : Séparateur d'isotopes
- CLIC : Collisionneur linéaire compact



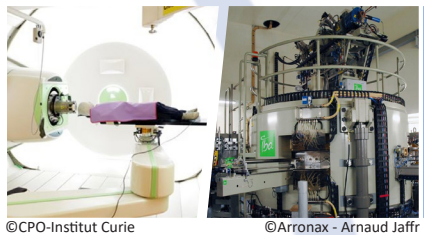
©CERN

**Contribution CEA - CNRS :**

Quadrupôles magnétiques supraconducteurs et partie du système cryogénique de l'accélérateur.  
Aimants géants de ATLAS & CMS.  
Participation aux études pour le FCC (Future Circular Collider) pour prendre le relais du LHC jusqu'à 100 TeV.

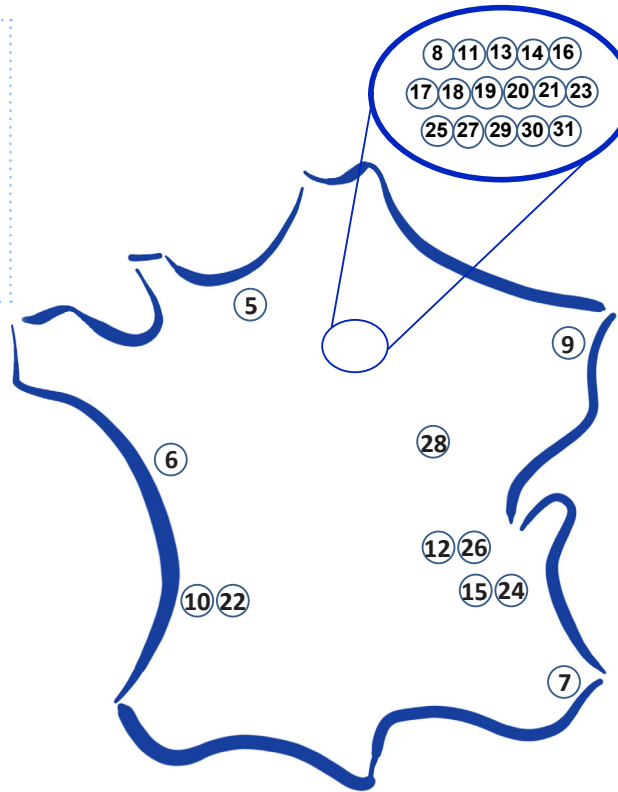
Accélérateurs pour la santé

- 5 **ARCHADE** (Caen) Projet Hadronthérapie
- 6 **ARRONAX** (Nantes) Cyclotron haute intensité 70 MeV pour la recherche en médecine nucléaire et en radiochimie
- 7 **CAL** (Nice) Cyclotron 65 MeV pour la protonthérapie
- 8 **CPO** – Institut Curie (Orsay) Centre de protonthérapie Nouveau cyclotron 230 MeV avec une gantry isocentrique
- 9 **CYRCE** (Strasbourg) Production de radio-isotopes pour le diagnostic ou le traitement médical



©CPO-Institut Curie

©Arronax - Arnaud Jaffr

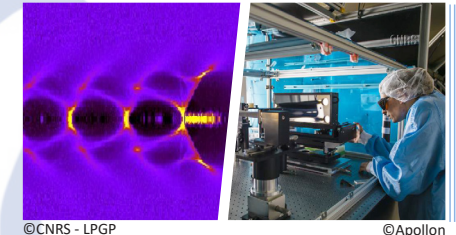


Nouveaux concepts d'accélération

- 21 **APOLLON** (Saclay) Impulsions laser 10 PW pour l'étude d'accélération d'électrons dans le domaine multi-GeV
- 22 **CELIA** (Bordeaux) Centre Lasers Intenses et Applications, CENBG Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan
- 23 **LULI, LOA, LPGP, LLR, LIDYL, DACM, LAL** (Ile de France) Techniques d'accélération par interaction laser-plasma
- 24 **LNCMI** (Grenoble) Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses

Physique nucléaire

- 25 **CSNSM** (Orsay) Centre de Sciences Nucléaires et de Sciences de la Matière
- 26 **IPNL** (Lyon) Institut de Physique Nucléaire de Lyon
- 27 **IPNO** (Orsay) Production de faisceaux d'ions légers



©CNRS - LPGP

©Apollon

Accélérateurs pour la recherche

- 10 **AIFIRA** (Bordeaux) CENBG - Production de faisceaux d'ions légers
- 11 **ALTO** (Orsay) Linac électron 50 MeV pour la physique nucléaire
- 12 **ANAFIRE** (Lyon) ANALyses et Faisceaux d'Ions pour la Radiobiologie et l'Environnement
- 13 **CLIO** (Orsay) Laser à électrons libres 50 MeV
- 14 **ELYSE** (Orsay) Accélérateur d'électrons picoseconde
- 15 **GENESIS** (Grenoble) LPSC - Générateur neutrons 14 MeV
- 16 **IPHI** (Saclay) Injecteur Protons Haute Intensité
- 17 **JANNUS** (Orsay-Saclay) Jumelage d'Accélérateurs pour les Nanosciences, le Nucléaire et la Simulation
- 18 **PHIL** (Orsay) Banc de test photo-injecteur pour R&D
- 19 **SCALP** (Orsay) Synthèse et Caractérisation par des ions Accélérés pour la recherche Pluridisciplinaire
- 20 **ThomX** (Orsay) Source X Compton – Accélérateur et circulateur 50 MeV

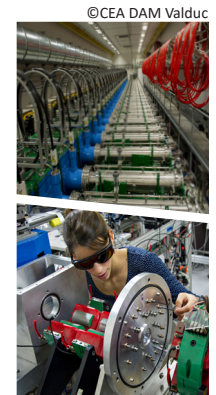
Autres applications

Défense

- 28 **EPURE** (CEA Valduc) Installation pour la radiographie de matériaux de densité très élevée en mouvement très rapide dans le cadre du traité franco-britannique Teutatès
- 29 **ELSA** (CEA Bruyères le Châtel) Source X Compton – Linac électrons 30 MeV
- 30 **NENUPHAR et 4 MeV** (CEA Bruyères le Châtel) : accélérateurs d'ions

Patrimoine culturel

- 31 **New AGLAE** (Paris) Accélérateur électrostatique du Musée du Louvre Laboratoire C2RMF

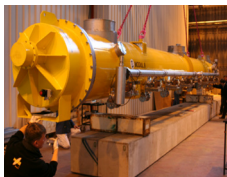


©CEA DAM Valduc

©CEA DAM Île de France

**XFEL** - Projet de laser X Européen à DESY - Allemagne

Objectifs : observer les détails atomiques des virus, filmer les réactions chimiques, étudier les processus au coeur des planètes.



Linac supra  
101 cryomodules  
808 cavités  
1,3 GHz  
23,6 MV/m

**IFMIF** - International Fusion Materials Irradiation Facility - Japon

Accélérateur de deutons 9 MeV, 125 mA CW, pour l'étude des matériaux pour les futurs réacteurs à fusion.  
En phase de validation (EVEDA phase).



**ESS** - European Spallation Source - Suède

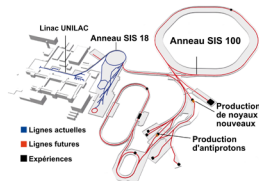
Future source de neutrons la plus brillante au monde pour la compréhension des structures et forces atomiques à une échelle inaccessible jusqu'alors.



Implication CEA – CNRS - partenaires industriels (divers systèmes et sections du linac).

**FAIR** - Facility for Antiproton and Ion Research in Europe - Allemagne

Production de faisceaux d'ions et d'antiprotons de très haute intensité pour la recherche sur la structure de la matière et l'évolution de l'Univers.



Circonférence SIS 100 : 1100m

**EuPRAXIA** - Compact European Plasma Accelerator with superior beam quality – Consortium européen

Une étude conceptuelle du premier accélérateur plasma au monde capable de délivrer des faisceaux de haute énergie de qualité appropriée vers des zones expérimentales dédiées.

**MYRRHA** - Multipurpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications - Belgique

Prototype de réacteur nucléaire piloté par un linac 600 MeV. Partenaires français industriels et académiques.



# Les activités de la division Accélérateurs



» **Les Rencontres Accélérateurs** - Biennales (années paires)

Une journée d'échanges et de débats sur l'organisation de l'enseignement, la prospective, les projets en cours, l'avenir de la discipline...

Rencontres agrémentées de visites d'installations.

» **Les Journées Accélérateurs** - Biennales (années impaires)

Deux jours d'échanges scientifiques entre les actrices et acteurs du domaine : ingénieurs, chercheurs, industriels, étudiants...  
Revue de l'activité accélérateur française et des technologies associées.



» **Le prix Jean-Louis Laclare**

Décerné tous les deux ans lors des Journées Accélérateurs de la SFP, le prix Jean-Louis Laclare récompense de jeunes physiciens qui ont réalisé des travaux remarquables en physique et technologie des accélérateurs.

» **Les autres prix de la SFP**

La SFP décerne par ailleurs d'autres prix : Grands Prix, prix de spécialité, prix de vulgarisation, prix jeunes chercheurs/euses.



**Musée de la lumière et de la matière**  
Sciences ACO - Bât. 201 - Porte 4  
Centre Universitaire d'Orsay  
www.sciencesaco.fr



La Société Française de Physique favorise la participation d'étudiants aux conférences qu'elle organise : bourses, posters, présentations.





**Société Française  
de Physique**

La **Société Française de Physique** (SFP) est une association reconnue d'utilité publique créée par et pour les physiciennes et physiciens dans le but :

- d'échanger sur la physique, sa production, son financement et sa place dans la société,
- d'œuvrer collectivement pour garantir l'accès à la culture scientifique pour le plus grand nombre.

La SFP rassemble au sein d'une **même communauté** l'ensemble des physiciens français, hommes et femmes, en favorisant leurs interactions au delà de leurs cultures et disciplines respectives.



La **Division Accélérateurs de la SFP** rassemble les acteurs académiques, scientifiques et industriels intervenant dans le domaine des accélérateurs de particules. Ce domaine couvre un champ scientifique très large lié à la conception, la réalisation et l'exploitation des accélérateurs de particules de toute nature, utilisés tant en recherche fondamentale et appliquée que pour des applications industrielles.

*Je la soutiens !*

*j'adhère*



[accelerateurs.sfpnet.fr](http://accelerateurs.sfpnet.fr)

[www.sfpnet.fr](http://www.sfpnet.fr)

Rédacteurs : Vincent Le Flanchec - Laurent Nadolski

Graphisme : Mayline Verguin

