



# 18 DÉCEMBRE 2006, INAUGURATION DE SOLEIL UNE SOURCE DE LUMIÈRE EXCEPTIONNELLE



- FICHE 1** - 18 DÉCEMBRE 2006, INAUGURATION DE SOLEIL :  
UNE SOURCE DE LUMIÈRE EXCEPTIONNELLE
- FICHE 2** - 5 PARTENAIRES DE PREMIER PLAN AUTOUR DE SOLEIL
- FICHE 3** - SOLEIL : 350 PERSONNES AU SERVICE DE LA SCIENCE
- FICHE 4** - VOUS AVEZ DIT SYNCHROTRON ?
- FICHE 5** - UN GRAND OUTIL PLURIDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE
- FICHE 6** - SOLEIL, DESTINATION INDUSTRIE
- FICHE 7** - LA CULTURE SCIENTIFIQUE : L'AUTRE MISSION DE SOLEIL
- FICHE 8** - 7 BONNES RAISONS DE CHOISIR SOLEIL
- FICHE 9** - L'ATTRIBUTION DU TEMPS DE FAISCEAU
- FICHE 10** - PANORAMA D'UNE CONSTRUCTION
- FICHE 11** - AU COEUR DES ACCÉLÉRATEURS ET DES LIGNES
- FICHE 12** - LES TECHNIQUES DISPONIBLES  
SUR LES INSTALLATIONS EXPÉRIMENTALES
- FICHE 13** - QUELQUES FAITS MARQUANTS





# **18 DÉCEMBRE 2006, INAUGURATION DE SOLEIL UNE SOURCE DE LUMIÈRE EXCEPTIONNELLE**

Le synchrotron SOLEIL, inauguré ce 18 décembre 2006, est prêt à accueillir l'ensemble de la communauté scientifique française et internationale. Il aura fallu cinq années pour mettre au point cet équipement de très haute technologie implanté sur le plateau de Saclay au coeur d'un environnement scientifique de très haut niveau. Avec l'ouverture de ses 12 premières lignes de lumière en 2007, les chercheurs de nombreuses disciplines disposent des techniques les plus performantes pour accéder à la structure et à la géométrie de la matière ainsi qu'à ses propriétés chimiques, magnétiques, électriques...



## **UN SYNCHROTRON DE TROISIÈME GÉNÉRATION AU PLUS HAUT NIVEAU DE LA COMPÉTITION INTERNATIONALE**



Doter la France d'un synchrotron de troisième génération au plus haut niveau de la compétition internationale, telle a été l'ambition depuis quatre ans de toutes les équipes mobilisées à SOLEIL. Un tel défi n'aurait pu être relevé sans la participation de partenaires investis dès les balbutiements du projet : le CNRS, le CEA, le ministère de la recherche, la région Ile-de-France, le Conseil général de l'Essonne et la Région Centre. A ces partenaires institutionnels, il faut ajouter l'ensemble de la communauté scientifique qui a été largement consultée afin de construire un synchrotron et des lignes de lumière capables de répondre au mieux aux attentes des nombreuses disciplines qui se retrouveront à SOLEIL.



## **UN ÉQUIPEMENT POUR LA RECHERCHE ET SES MULTIPLES APPLICATIONS**



Physique, chimie, sciences des matériaux, électronique, sciences du vivant, médecine, sciences de la Terre et de l'atmosphère, environnement, agroalimentaire, cosmétique, pharmacie... Les recherches qui pourront y être menées sont d'une aussi grande diversité que les domaines qu'elles couvrent. Si les centres de rayonnement synchrotron sont complémentaires des autres dispositifs d'exploration de la matière, ils offrent aux scientifiques un panel de techniques spécifiques très large et sont aujourd'hui les sources de lumière les plus performantes.



## **UNE ÉQUIPE À L'ÉCOUTE DES UTILISATEURS ET À LA RENCONTRE DU PUBLIC**



Quelque 2000 utilisateurs sont attendus à SOLEIL chaque année par une équipe multiculturelle de près de 400 personnes dont la préoccupation est de leur garantir l'accès à des installations au plus haut niveau dans leur gamme d'énergie (de l'infrarouge lointain aux rayons X durs). Ces personnels accompagnent les utilisateurs à chacune des étapes de leur projet sur SOLEIL, mènent leurs recherches propres et veillent à optimiser constamment les lignes de lumière et à demeurer à la pointe des technologies.

Enfin, SOLEIL, espace de recherche, se veut également espace de dialogue : avec les scientifiques, avec les industriels mais aussi avec le grand public. Pour cela, un bâtiment d'information est prêt à vous accueillir et vous guider pour découvrir cette machine exceptionnelle et ses installations.



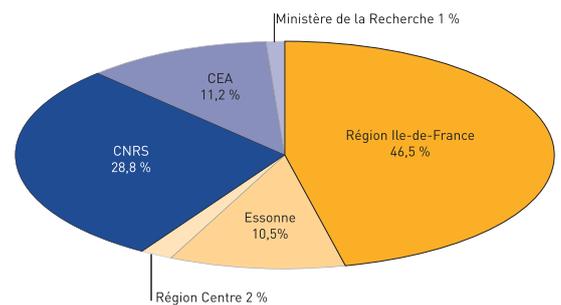


## 5 PARTENAIRES DE PREMIER PLAN AUTOUR DE SOLEIL



Un projet de l'envergure scientifique et technologique de SOLEIL a pu voir le jour grâce au soutien de partenaires convaincus et engagés à ses côtés dès le début du processus. Ils sont actuellement 5 à s'investir activement dans la vie de SOLEIL : les deux plus grands organismes de recherche français – le CNRS et le CEA – et trois collectivités territoriales de premier plan : la Région Ile-de-France, le Conseil général de l'Essonne et la Région Centre. Quel rôle jouent-ils ? Pourquoi se sont-ils engagés auprès de SOLEIL ?

### BUDGET DE CONSTRUCTION DE SOLEIL



Collectivités territoriales : 59 %    État : 41 %



### DES ORGANISMES DE RECHERCHE, ACTIONNAIRES DE SOLEIL

Le CNRS et le CEA sont les actionnaires de la société civile Synchrotron SOLEIL. Elle a été créée le 16 octobre 2001 par ces deux plus grands organismes de recherche français qui en détiennent respectivement les parts à hauteur de 72 % et de 28 %.

#### POUR ALLER PLUS LOIN :

Pour le CNRS et le CEA, le rayonnement synchrotron est un outil indispensable pour faire avancer la connaissance fondamentale et ses applications. D'autre part, sa mise au point et son utilisation contribuent fortement aux progrès des techniques (physique des accélérateurs, optique, détecteurs, etc.).

C'est pour cela que, constatant les besoins d'utilisation du rayonnement synchrotron, tant en France qu'à l'étranger, dans des disciplines de plus en plus variées, ils ont souhaité promouvoir en commun la construction, l'exploitation et le développement d'une installation de rayonnement synchrotron constituée d'une source de lumière à très hautes performances et de lignes de lumière innovantes destinées à être utilisées par leurs communautés scientifiques.

C'est ainsi qu'est né SOLEIL, le centre de rayonnement synchrotron français en forte interactivité avec les laboratoires et les instituts relevant du CNRS et du CEA, mais aussi avec de nombreuses universités et d'autres organismes. SOLEIL a également bénéficié de l'expérience technologique et humaine du LURE (Laboratoire d'Utilisation du Rayonnement et Electromagnétique) qui, de 1972 à 2003, a été le centre national de rayonnement synchrotron et a ouvert la voie de la performance et de la pluridisciplinarité que SOLEIL veut suivre.

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

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



[www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr)

INAUGURATION du  
SYNCHROTRON SOLEIL

18 décembre 2006





## 5 PARTENAIRES DE PREMIER PLAN AUTOUR DE SOLEIL



### DES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES, PARTENAIRES PRIVILÉGIÉS

La Région Ile-de-France et le Conseil général de l'Essonne sont les principaux partenaires de SOLEIL. Ayant activement soutenu le projet dès son origine et beaucoup œuvré à sa concrétisation, ils ont fortement contribué financièrement à sa construction et assurent aujourd'hui un suivi rigoureux de son développement.

En octobre 2002, ces collectivités territoriales ont signé avec l'État et SOLEIL une convention qui prévoit :

- de favoriser l'accès des PME / PMI à l'utilisation des techniques synchrotron,
- de garantir une bonne utilisation de SOLEIL par les scientifiques de la région (notamment les jeunes chercheurs en cours de formation, doctorants et post-doctorants),
- de participer à la politique de développement de la culture scientifique en direction du grand public et du public scolaire,
- une contribution de 183 M€, à hauteur de près de 60 % du coût de construction.

Peu après, la Région Centre a elle aussi souhaité s'associer à SOLEIL dans un partenariat structuré et exemplaire à plusieurs égards : elle participe au développement de trois lignes de lumière pour faciliter l'accès de SOLEIL à ses étudiants et à ses chercheurs, trois lignes qui sont également ouvertes à toute la communauté nationale dans une dynamique de collaboration pluridisciplinaire.

#### RÉGION ILE-DE-FRANCE : RECHERCHE ET INNOVATION À L'INTERNATIONAL

L'ouverture de la recherche scientifique francilienne sur le monde est fortement encouragée par la Région Ile-de-France : soutien aux rencontres et partenariats scientifiques, à l'implication de chercheurs dans des projets européens, accueil et logement des chercheurs étrangers. Au-delà des manifestations liées aux domaines d'intérêt majeur, des colloques scientifiques d'envergure internationale ou d'intérêt régional particulier peuvent être soutenus. L'objectif est de développer les échanges scientifiques entre chercheurs et d'améliorer la visibilité des travaux menés en Ile-de-France. Les laboratoires publics de recherche et les P.M.E. franciliennes peuvent ainsi plus facilement mener un projet R&D dans le cadre d'un programme européen. L'aide régionale permet également une large diffusion des résultats des travaux auprès des chercheurs et du grand public francilien.

Développer l'intérêt des jeunes pour les sciences et ses métiers, engager le grand public dans les débats de société liés aux sciences, c'est préparer l'avenir. La Région encourage également les collaborations entre le monde académique et la société civile pour produire des savoirs en commun.

En aidant les acteurs franciliens de la recherche et de l'innovation à se regrouper, à mutualiser leurs forces et à faire connaître leurs travaux, nous nous attachons à faire de l'Ile de France un lieu attractif pour les chercheurs et les chercheurs, jeunes et confirmés, tant français qu'étrangers.

Pour la Région, SOLEIL deviendra sans aucun doute un lieu où se croisent et se fécondent les préoccupations fondamentales et les problèmes appliqués, un lieu où les univers de la connaissance et de l'économie s'articulent dans le respect mutuel des intérêts de chacun.

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

#### L'ESSONNE : UN DÉPARTEMENT PIONNIER

Depuis plusieurs années, le Conseil général de l'Essonne fait du soutien aux domaines des technologies de l'information, de la communication et de l'optique d'une part, de la santé et des biotechnologies d'autre part, une priorité. Une volonté forte que récompense aujourd'hui la labellisation de deux pôles mondiaux de compétitivité en Essonne.

C'est ainsi qu'il consacre cette année plus de 20 millions d'euros au financement de grands équipements et projets. Parmi eux, on peut citer : Num@tec, Minerve, Pola et bien sûr le Synchrotron SOLEIL. Il contribue aussi, en subventionnant l'association OpticsValley qu'il a créée avec la Région, à l'animation des filières technologiques qui organisent les indispensables relations entre les milieux scientifiques, les entreprises et les organismes de formation, triptyque qui est l'essence même des pôles de compétitivité.

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

#### LE DÉVELOPPEMENT DE LA RECHERCHE : UN ENJEU MAJEUR POUR LA RÉGION CENTRE

Dans son Schéma Régional de Développement Economique et Social, la Région Centre affiche le développement de la recherche comme une priorité. Ses interventions visent à constituer et à renforcer des pôles de compétences reconnus, qui contribuent à son image et à son attractivité. Elle soutient par ailleurs les projets de recherche susceptibles d'avoir des retombées socio-économiques sur son territoire, notamment dans le cadre des pôles de compétitivité «Sciences et Systèmes de l'Energie Electrique» et «Cosmétique, Sciences de la Beauté et du Bien Etre». Enfin, elle veille à la mise en place d'un environnement favorable à la recherche par l'attribution de bourses doctorales, le soutien à l'ouverture internationale (mobilité, colloques, participation aux projets européens), la participation au développement de l'enseignement et de la culture scientifique et technique.

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



[www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr)

INAUGURATION du  
SYNCHROTRON SOLEIL  
18 décembre 2006



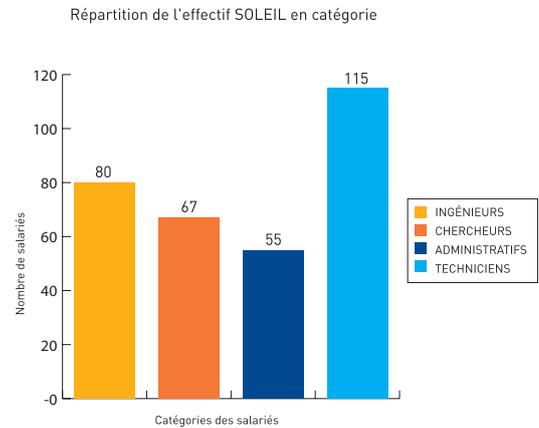


# SOLEIL : 350 PERSONNES AU SERVICE DE LA SCIENCE

Pour faire fonctionner un centre de rayonnement synchrotron comme SOLEIL, d'importants moyens humains et financiers sont mis en oeuvre. Ainsi, pas moins de 350 personnes s'investissent quotidiennement pour garantir aux utilisateurs de SOLEIL des conditions de recherche optimales.



## LE PERSONNEL



L'effectif du personnel permanent de SOLEIL est aujourd'hui, pour la phase de mise en exploitation des douze premières lignes de lumière, de 317 personnes. Ce nombre devrait être porté à 356 en 2009 lorsque l'installation sera en pleine exploitation avec ses 25 lignes de lumière.

80 % du personnel a une vocation scientifique ou technique, 20 % une vocation administrative ou de management.

Outre son personnel permanent, SOLEIL accueille également des chercheurs, enseignants chercheurs et ingénieurs avec un statut d'« associés à SOLEIL ». Ces personnels associés qui partagent leur activité entre leur laboratoire de rattachement et SOLEIL, participent à temps partiel au fonctionnement et au développement des lignes de lumière. Dans le cadre d'une telle association, ils font bénéficier à une large communauté d'utilisateurs de leurs compétences et outils spécifiques. En contrepartie, ils bénéficient d'un soutien de SOLEIL proportionnel à leur engagement. Ils créent aussi des liens scientifiques entre leurs laboratoires et les équipes de SOLEIL dans une dynamique mutuellement bénéfique.

### POUR ALLER PLUS LOIN :

Les postes à pourvoir dans la société civile le sont soit par recrutement direct, soit par détachement ou mise à disposition d'agents du CNRS, du CEA, ou d'autres organismes comme les universités. Les agents du CEA sont tous détachés. Les conditions proposées aux agents du CNRS pour rejoindre SOLEIL proposent un libre choix entre 3 solutions :

- soit un détachement du CNRS, d'une durée de 5 ans, renouvelable,
- soit une mise en disponibilité : l'agent est alors en CDI à l'égard de SOLEIL,
- soit une affectation à l'Unité de Recherche SOLEIL (URS) : unité CNRS adossée à SOLEIL, permettant aux personnels d'être mis à la disposition de SOLEIL, tout en restant sous statut CNRS pour leur évaluation, promotion, et salariés du CNRS.

Aujourd'hui, 57 % du personnel est sous contrat de droit privé SOLEIL, 35 % sous contrat de détachement ou de mise à disposition CNRS-CEA et autres, et 8 % du personnel a souhaité être affecté à l'URS CNRS-SOLEIL.





### FINANCEMENT

Le budget total de SOLEIL pour la période 2002-2009 s'élève à 454 millions d'euros aux conditions économiques de 2007. La Région Ile-de-France y contribue pour 148,6 millions d'euros, le département de l'Essonne pour 34,3 millions d'euros et la Région Centre à hauteur de 5,2 millions d'euros. La part restante est financée par l'État via les organismes de recherche CEA et CNRS à hauteur respectivement de 28 et 72 %.

Grands postes budgétaires (en millions d'euros aux CE 2007)		Personnel	Fonctionnement	Investissement
Total projet	454	152,5	53	248,5
dont construction (2002-2009)	316	69	15	232
dont exploitation (2006-2009)	138	84	37	17
Exploitation au-delà de 2009	54 M€/an			





## VOUS AVEZ DIT SYNCHROTRON ?

Produire une lumière extrêmement brillante afin de percer les secrets les plus intimes de la matière : telle est la mission d'un centre de rayonnement synchrotron.

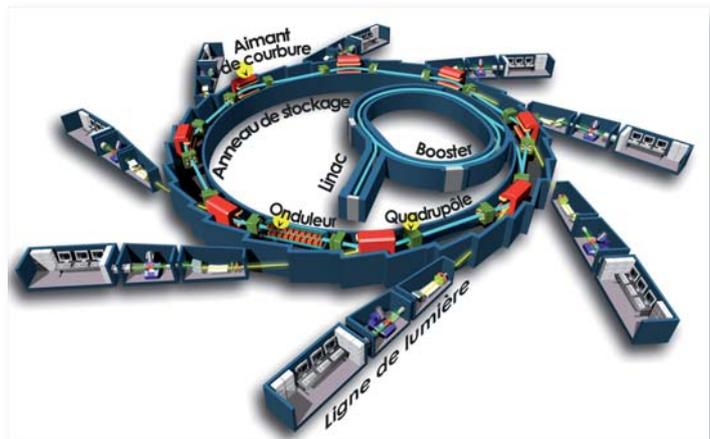
Au service des scientifiques comme des industriels, cette installation de très haute technologie offre les moyens d'investigation désormais indispensables aux chercheurs. De quoi se compose-t-elle ? Comment émet-elle son rayonnement ? Pourquoi un nouveau centre ? Pourquoi SOLEIL ?



### UN SYNCHROTRON : DES ÉLECTRONS EN RONDE, DES PHOTONS EN LIGNE

Les expériences menées dans un centre de rayonnement synchrotron utilisent la lumière émise par des électrons relativistes, c'est-à-dire circulant dans un anneau à une vitesse proche de celle de la lumière (300 000 km/s).

Ces électrons de très haute énergie sont d'abord émis dans un pré-injecteur linéaire, le LINAC, qui leur fait subir une première accélération avant de les diriger dans un deuxième injecteur circulaire, le BOOSTER, qui monte leur énergie à la valeur de fonction-



nement choisie pour le synchrotron, 2,75 milliards d'électron-Volts. Les électrons sont ensuite injectés dans l'anneau de stockage où ils vont tourner pendant des heures. Cet anneau, de 354 mètres de périmètre, est équipé de dispositifs magnétiques - aimants de courbure, onduleurs et wigglers (caractéristiques des synchrotrons de troisième génération) - qui forcent les électrons à suivre des trajectoires courbes ou ondulées. A chaque passage dans ces dispositifs magnétiques où leur trajectoire est déviée, les électrons perdent de l'énergie sous forme d'une lumière particulière appelée « rayonnement synchrotron ». Capté en différents endroits de l'anneau de stockage, ce rayonnement est canalisé vers des sorties, les lignes de lumière. Chaque ligne est un véritable laboratoire instrumenté pour analyser des échantillons complexes et de toute sorte et optimisé pour des techniques spécifiques d'analyse.



#### RENDEZ-VOUS :

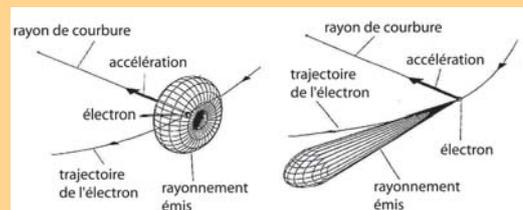
FICHE 11 POUR CONNAÎTRE  
EN DÉTAIL LE FONCTIONNEMENT  
DE SOLEIL

#### POUR ALLER PLUS LOIN : UNE LUMIÈRE EXCEPTIONNELLEMENT BRILLANTE

Courber la trajectoire d'un paquet d'électrons revient à lui faire subir une accélération ou une décélération. La modification de sa vitesse de circulation provoque alors l'émission de rayonnement. La propagation de ce rayonnement ne sera pas la même si les électrons sont

non relativistes (leur vitesse est bien inférieure à celle de la lumière) ou relativistes : dans le premier cas, le rayonnement est émis dans toutes les directions ; on dit qu'il est isotrope autour de la direction d'accélération. Si l'électron est relativiste, l'émission de rayonnement se fait tangentielle à la trajectoire dans un très petit cône qui concentre toute sa brillance.

Ce rayonnement est si intense qu'il permet d'étudier de la matière ultra-diluée ou de suivre des processus à l'échelle de quelques centièmes de nanoseconde. Les photons émis viennent frapper une cible, un objet, une matière, une molécule et permettent d'étudier d'une part sa géométrie en surface ou en volume, et d'autre part ses propriétés.







# UN GRAND OUTIL PLURIDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE

Physique, chimie, sciences des matériaux, sciences du vivant, sciences de la Terre et de l'atmosphère, environnement, art & patrimoine... Les 25 lignes de lumière de SOLEIL accueilleront chaque année plus de 2000 utilisateurs issus de tous les domaines qui mobilisent aujourd'hui la science et la technologie.

## L'ÉVENTAIL DES DISCIPLINES

Qu'il s'agisse de décrire en détail la structure et la géométrie de la matière, de sonder sélectivement les niveaux électroniques des atomes ou d'explorer leurs propriétés, l'utilisation du rayonnement synchrotron concerne un très large ensemble d'activités tant en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée.



Vue panoramique du hall expérimental

### POUR ALLER PLUS LOIN : LES POINTS FORTS DE SOLEIL

- Une gamme spectrale étendue de l'infrarouge lointain aux rayons X durs, qui favorise l'utilisation de techniques complémentaires les unes des autres.
- Un ensemble unique de lignes de lumière pour l'imagerie, la microscopie et la micro-spectroscopie en infrarouge, en ultraviolet, en X mous, tendres et durs. Cette plateforme sera particulièrement adaptée à l'étude des nanomatériaux, nanostructures artificielles et nanostructures biologiques.
- Grâce à un mode spécial de fonctionnement de l'anneau de stockage (fonctionnement en 8 paquets), plusieurs lignes de lumière permettront de mener des études à haute résolution temporelle : par exemple le suivi de réactions chimiques ou de phénomènes magnétiques jusqu'à quelques dizaines de picosecondes ( $10^{-12}$  seconde) et peut-être demain... la centaine de femtosecondes ( $10^{-15}$  seconde).

**RENDEZ-VOUS :**  
FICHE 9 POUR CONNAÎTRE LES MODALITÉS D'ATTRIBUTION DU TEMPS DE FAISCEAU AUX UTILISATEURS

## LA DOUBLE VOCATION DE SOLEIL

La première mission de SOLEIL est d'être un outil de service pour l'ensemble de la communauté scientifique et industrielle. Mais SOLEIL est aussi un laboratoire qui développe ses propres thématiques de recherche au sein d'équipes scientifiques de très haut niveau.

Concrètement, les équipes de SOLEIL :

- conçoivent et font évoluer les lignes de lumière pour qu'elles répondent en permanence au plus haut niveau d'exigence de leurs utilisateurs ;
- assurent l'excellence de l'accueil des utilisateurs extérieurs et l'adéquation entre leurs besoins et les possibilités offertes ;
- effectuent une recherche propre d'excellence, principalement obtenue en utilisant les installations de SOLEIL.

**RENDEZ-VOUS :**  
FICHE 6 POUR MIEUX CONNAÎTRE LES APPLICATIONS DE SOLEIL



# UN GRAND OUTIL PLURIDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE

Noms des lignes de lumière	Chercheurs responsables	Domaine d'énergie
<b>CASSIOPEE</b> Combined Angular and Spin resolved Spectroscopies Of Photo Emitted Electrons	A. Taleb-Ibrahimi, F. Bertran, P. Lefèvre	Rayons X mous : 10 - 1.500 eV
<b>CRISTAL</b> Cristallographie et structure de la matière condensée	S. Ravy, E. Elkaim, P. Fertey	Rayons X durs : 4.000 - 30.000 eV
<b>DESIRS</b> Dichroïsme Et Spectroscopie par Interaction avec le Rayonnement Synchrotron	L. Nahon, N. de Oliveira, G. Garcia-Macias	Vacuum Ultra Violet : 5 - 40 eV
<b>DiffAbs</b> Diffraction et Absorption pour la science des matériaux	D. Thiaudière, A. Somogyi	Rayons X durs : 3.000 - 23.000 eV
<b>INFRAROUGE</b> (2 branches) <b>AILES</b> Advanced Infrared Line Exploited for Spectroscopy	P. Roy	Infrarouge lointain : 0,4 MeV - 0,4 eV, soit 3 µm à 3mm de longueur d'onde
<b>SMIS</b> SMIS Spectroscopie et Microscopie Infrarouge avec Synchrotron	P. Dumas, F. Jamme	Moyen Infrarouge : 0,025 - 0,8 eV, soit 1,5 à 50 µm de longueur d'onde
<b>LUCIA</b> Ligne Utilisée pour la Caractérisation par Imagerie et Absorption En fonctionnement au SLS (centre suisse de rayonnement synchrotron) jusqu'en 2008	A-M. Flank, P. Lagarde, D. Vantelon	Rayons X tendres : 800 - 8.000 eV
<b>ODE</b> Optique Dispersive EXAFS	F. Baudelet, A. Congeduti	Rayons X durs : 3.500 - 23.000 eV
<b>PROXIMA 1</b> Etude structurale des macromolécules biologiques par cristallographie	A. Thompson, E. Girard, P. Legrand, I. Ascone	Rayons X durs : 5.000 - 15.000 eV
<b>SAMBA</b> Spectroscopies Applied to Materials Based on Absorption	V. Briois, S. Belin, E. Fonda	Rayons X durs : 4.000 - 43.000 eV
<b>SWING</b> Small and Wide angle X-ray scattering	J. Pérez, O. Lyon, F. Meneau	Rayons X durs : 4.000 - 43.000 eV
<b>TEMPO</b> Time resolved Experiments on Materials with Photoelectron spectroscopy	F. Sirotti, M. Izquierdo	Rayons X mous : 45 - 1.000 eV
<b>ANTARES</b> A New Tailored Angle REsolved Spectroscopies beamline : diffraction de photoélectrons (surfaces de Fermi)	M-C. Asensio, J. Avila	Rayons X mous : 10 - 1.000 eV
<b>DEIMOS</b> Dichroism Experimental Installation for Magneto-Optical Spectroscopy	P. Ohresser, S. Stanescu	Rayons X mous : 350-2.000 eV
<b>DISCO</b> Spectroscopie UV-visible et dichroïsme circulaire pour l'étude des macromolécules biologiques	M. Réfrégiers, F. Wien, A. Giuliani	Du VUV au visible : 1 - 20 eV, soit 60 - 700 nm de longueur d'onde
<b>GALAXIES</b> Diffusion inélastique des rayons X et spectroscopie d'électrons haute énergie	J-P. Rueff	Rayons X durs : 2.000 - 12.000 eV
<b>CONDITIONS EXTRÊMES</b> Diffraction en hautes pressions et températures. Tomographie	J-P. Itié, N. Guignot	Rayons X durs : 15.000 - 100.000 eV
<b>MARS</b> Matière Radioactive à SOLEIL	B. Sitaud, P-L. Solari	Rayons X durs : 3.500 - 36.000 eV
<b>MICROFOCUS</b> Ligne à haut flux et micro-foyer pour méthodes spectroscopiques avancées	R. Belkhou, M. Sacchi, R. Gaudemer	Rayons X mous : 50 - 1.500 eV
<b>MICROSCOPIUM</b> Microanalyse par diffraction, absorption et fluorescence		Rayons X durs
<b>PLEIADES</b> Polarized Light Source for Electron and Ion Analysis from Diluted Excited Species	C. Miron, C. Nicolas	Rayons X mous : 7 - 1.000 eV
<b>PROXIMA 2</b> Etude structurale des macromolécules biologiques par cristallographie	W. Shepard, R. Meijers	Rayons X durs
<b>SIRIUS</b> Soft Interfaces and Resonant Investigations on Undulator Source	P. Fontaine	Rayons X durs : 2.000 - 10.000 eV
<b>SIXS</b> Diffraction de surface	Y. Garreau, A. Coati	Rayons X durs : 5.000 - 20.000 eV
<b>METROLOGY</b> Métrologie et calibration d'instruments optiques	M. Idir	3 branches en Rayons X : de 5.000 à 28.000 eV (hors programme expériences, co-financement SOLEIL, CEA-DAM, BNM/LNHB CEA Saclay)

Programmes scientifiques	Responsables
Simulation et calculs intensifs en biophysique	G. Kneller, K. Hinsin. Équipe associée à SOLEIL
BioXAS Biological X-Ray spectroscopy	I. Ascone. Programme mis en oeuvre sur SAMBA, PROXIMA 1 et LUCIA

Lignes de lumière mises en service lors de la phase I

Lignes de lumière mises en service lors de la phase II



www.synchrotron-soleil.fr

INAUGURATION du  
SYNCHROTRON SOLEIL  
18 décembre 2006



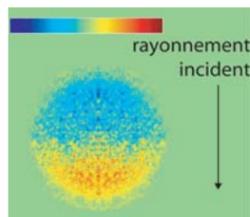
www.synchrotron-soleil.fr

INAUGURATION du  
SYNCHROTRON SOLEIL  
18 décembre 2006



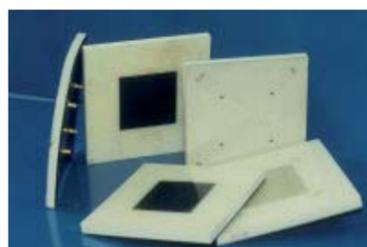
## UN GRAND OUTIL PLURIDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE

### PHYSIQUE ATOMIQUE ET MOLÉCULAIRE



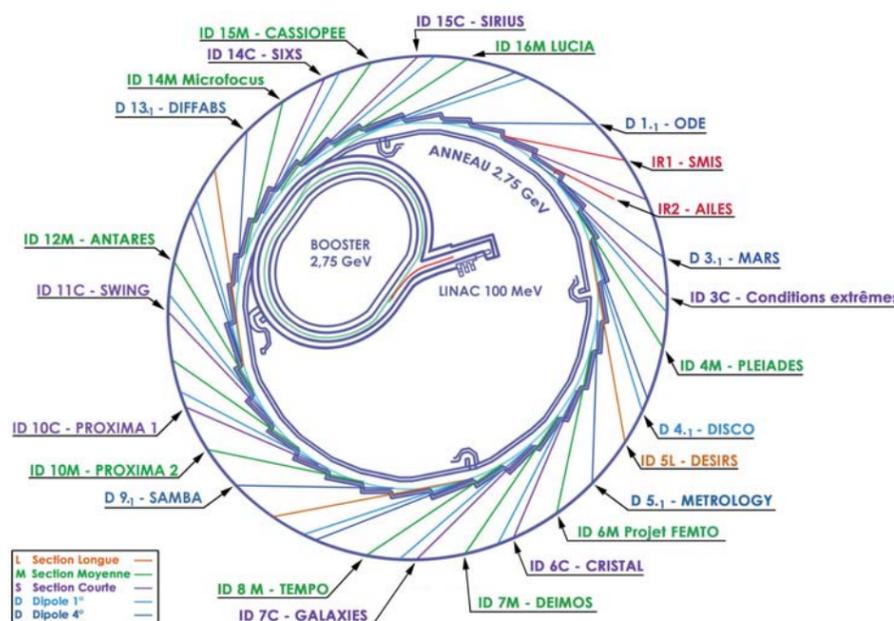
On s'intéresse ici à l'étude détaillée de l'interaction entre un photon et une espèce isolée (atome, molécule, agrégat). Après absorption du photon, impliquant la spectroscopie, l'énergie déposée va se relaxer en mettant en jeu différents processus chimiques (fragmentation) et physiques (émission d'un ou plusieurs électrons) éventuellement en compétition. Au-delà de la compréhension de ces processus fondamentaux, notamment grâce à la comparaison avec les calculs théoriques les plus précis, les espèces en phase gaz peuvent servir de systèmes modèles pour des composés plus complexes comme les biomolécules ou le solide. Les champs d'application vont de l'étude de l'atmosphère à celle de l'espace interstellaire en passant par la physique des plasmas et la radiobiologie. Les lignes DESIRS (UV/VUV) et PLEIADES (VUV/X-mous) seront des outils de choix pour ce type d'expériences.

### STRUCTURE ET DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE : DU MASSIF AU NANOMATÉRIAU



Cette physique expérimentale fait appel, en rayonnement synchrotron, à trois grandes classes de moyens d'études : la cristallographie, les spectroscopies et les techniques d'imagerie et de microscopie. En les combinant, on aura accès à la structure fine de systèmes de taille nanométrique ou de systèmes complexes aux propriétés spécifiques. Les lignes CRISTAL (diffraction de rayons X), SIXS (X durs), SIRIUS (X tendres) mais aussi DIFFABS (X durs et première ligne en exploitation) permettront ces études couplées d'imagerie par diffraction. SAMBA (X durs) et LUCIA (X tendres) plus orientées « absorption » permettront de sonder l'environnement local autour d'un élément chimique donné. Deux lignes seront aussi dédiées à la microscopie X durs et X mous. Pour des échelles de taille plus grande (du micron au nanomètre) c'est SWING qui prendra la relève pour obtenir des informations sur la taille, la morphologie et l'organisation des nano objets présents dans les matériaux ou de nanostructures complexes (GISAXS).

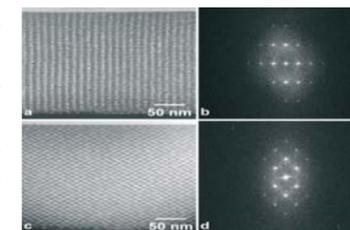
(X tendres) mais aussi DIFFABS (X durs et première ligne en exploitation) permettront ces études couplées d'imagerie par diffraction. SAMBA (X durs) et LUCIA (X tendres) plus orientées « absorption » permettront de sonder l'environnement local autour d'un élément chimique donné. Deux lignes seront aussi dédiées à la microscopie X durs et X mous. Pour des échelles de taille plus grande (du micron au nanomètre) c'est SWING qui prendra la relève pour obtenir des informations sur la taille, la morphologie et l'organisation des nano objets présents dans les matériaux ou de nanostructures complexes (GISAXS).



### CHIMIE

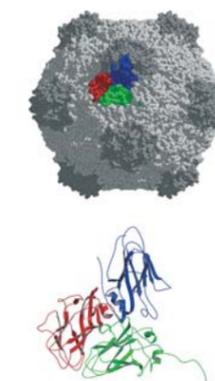
Le potentiel d'expériences mis en place à SOLEIL ouvre de larges perspectives en chimie, par exemple pour le suivi *in situ* de la synthèse des matériaux (de la chimie douce des sols/gels jusqu'aux synthèses sous très hautes températures et/ou très hautes pressions).

Près de 20 lignes seront concernées à des degrés divers sachant que de nombreux thèmes seront aux interfaces chimie/physique et chimie/biologie. D'un bout à l'autre de la gamme spectrale de SOLEIL, quelques exemples : SAMBA et ODE (X durs) qui permettront d'aborder des réactions complexes en temps réel (catalyse par exemple). Toujours en X durs, DIFFABS sera centrée sur les très hautes températures et CRISTAL sur la cristallographie par exemple des poudres et des monocristaux. SWING (X) sera particulièrement bien adaptée pour des études à l'échelle de la dizaine de nanomètres, par exemple dans des alliages métalliques et des polymères. AILES en Infrarouge et DESIRS (UV-VUV) seront essentielles pour la chimie en phase gaz lointain.



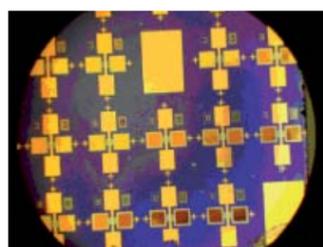
### SCIENCES DE LA VIE ET SANTÉ

Avec 3 lignes strictement dédiées à la biologie (dont 2 à la biocristallographie : PROXIMA I et II) et 8 autres partiellement utilisées, SOLEIL s'inscrit dans le mouvement général de développement de l'utilisation du rayonnement synchrotron en biologie. Tout en mettant l'accent sur les études structurales de macromolécules biologiques à l'échelle atomique, en liaison forte avec l'industrie pharmaceutique, SOLEIL a également souhaité s'inscrire dans les recherches en biologie avec d'autres outils allant de l'échelle atomique (spectroscopie d'absorption) à l'échelle plus large de la molécule complète ou de ses sous-ensembles (diffusion des rayons X, dichroïsme UV et spectrométrie de masse). Associé aux études phares sur les macromolécules, SOLEIL développera ainsi l'imagerie de systèmes biologiques encore plus gros : de la cellule à la fibre jusqu'au fragment de tissu, pour la biologie et la médecine.



**RENDEZ-VOUS :**  
FICHE 11 POUR DÉCOUVRIR LES TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE A SOLEIL

### STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DES MATÉRIEAUX ET NANOSTRUCTURES



La photoémission, c'est-à-dire l'émission d'un ou plusieurs électrons éjectés par un photon, permet la mesure directe de la structure électronique des matériaux. 3 lignes en X mous sont dédiées à ces mesures : CASSIOPEE, ANTAIRES et TEMPO. Chacune est optimisée : CASSIOPEE vers la très haute résolution et la résolution magnétique, ANTAIRES pour les nanosciences avec un faisceau nanométrique et TEMPO pour le suivi temporel à l'échelle de la fraction de nanoseconde. Pour les compléter, MICROFOCUS (X mous), et GALAXIES (X durs) permettront de détecter également les photons de fluorescence émis. L'ensemble de ces lignes associées à ODE, DEIMOS, MICROFOCUS, SIRIUS, SIXS et SWING, contribueront à appuyer la communauté scientifique française très dynamique du nanomagnétisme et plus largement des nanosciences. Au programme : électronique de spin, aimants moléculaires, composés ultra-petits à fortes fonctionnalités, films nano-gravés, supraconducteurs...

### ENVIRONNEMENT ET PATRIMOINE

Les méthodes de micro-imagerie et d'analyse de micro-prélèvements disponibles sur SOLEIL seront particulièrement intéressantes pour les recherches sur l'environnement et le patrimoine (art, archéologie, monuments). Ces deux disciplines sont en fort développement et SOLEIL y consacre des efforts importants et parfois inédits. Ainsi, une interface nommée HALO (Heritage and Archaeology Liaison Office) a vu le jour à SOLEIL dès 2003 pour informer les laboratoires du domaine archéologique et culturel qui sont confrontés à l'analyse d'échantillons très hétérogènes, complexes, fragiles, minéraux ou organiques, amorphes ou structurés, et les aider à accéder aux techniques disponibles à SOLEIL. En effet, en dehors de quelques exceptions notables, ces laboratoires sont peu habitués à la mise en oeuvre des techniques synchrotron pourtant très adaptées à ces études. Les lignes de lumière DIFFABS, SMIS, CONDITIONS EXTREMES, MICROSCOPIUM, CRISTAL et également SWING sont particulièrement bien représentées dans ces domaines. Ces thématiques seront en outre un des axes forts de LUCIA, déjà en fonctionnement en Suisse avec, par exemple, l'étude des mécanismes d'altération des verres de vitraux des cathédrales gothiques.





## SOLEIL, DESTINATION INDUSTRIE

Les centres de rayonnement synchrotron ne s'intéressent pas uniquement à la recherche fondamentale. Les produits analysés et les sujets d'études concernent des thématiques industrielles telles que par exemple le vieillissement du chocolat, l'effet des cosmétiques, le recyclage des bouteilles en plastique, le contrôle de dispositifs de microélectronique, les mesures de contraintes dans les aubes de turbine, le traitement des polluants ou le développement de nouveaux médicaments. Les activités industrielles et appliquées représentent plus d'un quart de l'utilisation des faisceaux de lumière. Toutes les phases de la vie d'un produit industriel sont concernées : R&D, fabrication et contrôle, vieillissement et recyclage.



### UNE GAMME D'ÉQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES DE POINTE

Les lignes de lumière et les laboratoires supports de préparation et d'instrumentation de SOLEIL (chimie, biologie, surfaces, métrologie et étalonnage des optiques) sont accessibles aussi bien par les novices que par les utilisateurs expérimentés. Adaptables et évolutives, les lignes de lumière de SOLEIL sont mises en œuvre pour l'analyse, la caractérisation et le contrôle des matériaux. Elles génèrent des gains de performance importants par rapport aux appareils de laboratoire, principalement en termes de :

- qualité et sensibilité des mesures,
- possibilité de microanalyse (à l'échelle du micron, voire en dessous) et d'imagerie (balayage de l'échantillon par le micro-faisceau de lumière),
- possibilité d'analyse simultanée par plusieurs techniques complémentaires.

Certaines techniques, telles que la spectroscopie d'absorption des rayons X, sont par ailleurs spécifiques du rayonnement synchrotron ; elles constituent des moyens complémentaires d'acquisition de nouvelles informations sur les matériaux étudiés.



#### RENDEZ-VOUS :

FICHE 5 POUR MIEUX CONNAÎTRE LES TECHNIQUES D'EXPLORATION  
FICHE 11 POUR MIEUX CONNAÎTRE LES LIGNES DE LUMIÈRE



### UN SUPPORT TECHNIQUE ET UNE EXPERTISE SCIENTIFIQUE

SOLEIL est présent aux côtés des utilisateurs industriels pour les aider à réaliser les mesures, dans les conditions optimales de fonctionnement des lignes de lumière et en totale confidentialité. SOLEIL peut aussi assurer la prise en charge intégrale des mesures et l'analyse des résultats, ainsi que des actions de conseil ou de formation.



#### RENDEZ-VOUS :

FICHE 9 POUR CONNAÎTRE LES MODALITÉS D'ACCÈS AUX LIGNES DE LUMIÈRE



### DE NOMBREUSES APPLICATIONS

#### Pharmacie



Toutes les grandes entreprises pharmaceutiques bénéficient du rayonnement synchrotron pour leurs activités de recherche de nouveaux principes actifs, à partir de la visualisation à l'échelle atomique des interactions protéine-molécule candidate. Deux autres activités pharmaceutiques sont en plein développement : l'analyse des médicaments sous forme de poudres et le suivi des effets des traitements sur les tissus.

#### Quelques exemples d'études

Analyse à l'échelle atomique de complexes protéine-ligand /  
Analyse de conformité de médicaments / Structure, dynamique et stabilité de milieux complexes eau-lipides-surfactants /  
Etude du vieillissement de médicaments

#### Cosmétiques

L'industrie des cosmétiques utilise depuis longtemps les centres de rayonnement synchrotron dont les techniques sont particulièrement bien adaptées pour le développement de nouveaux produits comme pour le suivi de leurs effets et le contrôle de leur innocuité.



#### Quelques exemples d'études

Analyse de l'architecture moléculaire de la peau et des cheveux / Diffusion de produits et d'éléments chimiques /  
Structure, stabilité et vieillissement d'émulsions, mousses et gels / Comportement rhéologique des émulsions





### Électronique



La recherche et le développement jouent un rôle fondamental dans l'électronique spécialement pour le domaine des composants et pour celui de l'électronique professionnelle et industrielle qui concernent des secteurs

d'application aussi variés que la défense, le spatial, l'aéronautique, les transports, le médical ou la métrologie.

#### Quelques exemples d'études

Caractérisation et microscopie des domaines magnétiques / Etude de matériaux pour l'électronique de spin / Dynamique de magnétisation / Structure électronique de surfaces et interfaces / Analyse de surfaces nano-structurées (quantum dots) / Contraintes dans les lignes conductrices des interconnexions / Contrôle de contamination métallique

### Matériaux



Mise au point de nouveaux matériaux, vieillissement et performances des ciments, verres ou alliages, contrôle de surface laissent entrevoir de nouvelles voies de développement de matériaux innovants.

#### Quelques exemples d'études

Micro et nanostructure de ciments, bétons, pièces métalliques / Prise du ciment, effet d'additifs / Caractérisation de revêtements / Développement de catalyseurs pour l'automobile / Mesure de contraintes résiduelles et détection de défauts dans des pièces aéronautiques

### Environnement et éco-industries



La lumière synchrotron offre en effet des outils de choix pour les analyses de matériaux et sites pollués, et pour la mise au point et le suivi des techniques de dépollution. La

grande sensibilité des mesures est parfaitement adaptée à la détection de très faibles concentrations et à l'analyse de spéciation des espèces chimiques concernées.

#### Quelques exemples d'études

Etude des mécanismes d'érosion des ciments / Analyse de pollution de sols / Analyse de cendres volantes / Détection de métaux lourds / Dépollution bactérienne

### Énergie

L'apport analytique des techniques synchrotron est exploité de longue date par l'industrie pétrolière pour l'évaluation de la qualité des gisements, des bruts et des dérivés pétrochimiques. L'industrie nucléaire est intéressée pour l'exploration minière, pour la préparation, le traitement et le recyclage des combustibles, et pour la gestion des déchets.

### Quelques exemples d'études

Microstructure / Porosité des roches-réservoirs / Inclusions fluides / Electrochimie et développement de piles / Procédés d'enrichissement / Corrosion sous-irradiation / Traitement et stockage

### Agroalimentaire

Premier secteur industriel français, l'agroalimentaire couvre des activités très larges et de grands groupes industriels ont recours depuis plusieurs années à l'utilisation de la lumière synchrotron pour caractériser et analyser finement leurs produits.



#### Quelques exemples d'études

Dynamique et stabilité d'émulsions, mousses et gels alimentaires / Transitions de phases des lipides dans le beurre et le chocolat / Analyse de la fermentation et de la cuisson du pain / Etude de la cristallinité de bouteilles en plastique / Diffusion d'éléments chimiques, biotoxicité

### Chimie

Le secteur de la chimie tire particulièrement avantage des techniques synchrotron pour la recherche et développement de nouveaux produits ou pour l'optimisation de fabrication. Les techniques de spectroscopies d'absorption X permettent par exemple de suivre les réactions chimiques en temps réel et de déterminer la nature et l'état d'oxydation des réactifs, soutenant la forte activité de développement de nouveaux catalyseurs.



#### Quelques exemples d'études

Mise en évidence de produits transitoires / Suivi des états d'oxydation dans les réactions de catalyse / Ordre local autour d'une espèce chimique / Étude du piégeage moléculaire / Cristallisation et microstructure de polymères / Caractérisation des charges dans les composites / Analyse du vieillissement thermique, mécanique et sous irradiation des plastiques

### LIGA : fabrication de micro-systèmes à grand facteur de forme

SOLEIL utilise les rayons X produits du rayonnement synchrotron pour fabriquer des objets de haute précision à l'échelle micrométrique par lithographie profonde (procédé LIGA).



**Avantages :** obtention de formes complexes et de section quelconque, accès aux 3 dimensions en une seule étape, matériaux variés : métaux, alliages, plastiques ou céramiques.



## LA CULTURE SCIENTIFIQUE : L'AUTRE MISSION DE SOLEIL

Lieu de l'interdisciplinarité, SOLEIL est également devenu un lieu d'échange et de diffusion de la culture scientifique et technique. SOLEIL est accessible à tous depuis bientôt 5 ans et développe des actions scientifiques, pédagogiques et grand public, en partenariat avec les acteurs les plus mobilisés dans le domaine : le Rectorat de Versailles et récemment la Région Centre avec le Rectorat d'Orléans-Tours, les établissements scolaires, les associations régionales de culture scientifique, les services spécialisés des collectivités territoriales locales, les municipalités, les bibliothèques et les médiathèques... Un travail de tous les jours pour permettre à tous de découvrir la science en train de se faire.



### LE CHERCHEUR, AU CŒUR DU DISPOSITIF DE COMMUNICATION PÉDAGOGIQUE ET GRAND PUBLIC

A SOLEIL, les groupes de 30 à 40 élèves quotidiennement présents sur le site font maintenant partie du paysage des chercheurs. Le rôle de ceux qui animent la recherche de SOLEIL est en effet essentiel dans le mécanisme de transmission des connaissances que SOLEIL a élaboré.

- Ainsi, le cahier des charges de la communication pédagogique repose sur la relation médiateur / enseignant / chercheur. Le chercheur devient non pas le dépositaire d'un savoir absolu, mais la personne-ressource : il ou elle donne vie au contenu en l'inscrivant dans une démarche concrète et permet la découverte du lien, par exemple, entre ce qui est appris en classe et ce qui se passe dans un centre de recherche.

La poursuite pour la 5<sup>e</sup> année du partenariat avec le Rectorat de Versailles et la récente extension de cette action à la Région Centre, baptisée « SOLEIL dans les lycées » promettent non seulement de nouvelles et nombreuses classes à accueillir mais également de nouveaux horizons à peine effleurés jusqu'à présent et qui vont prendre corps en 2007 :

- science et philosophie avec par exemple une mallette pédagogique intitulée « le vide et le rien »,
- science et histoire avec un travail en partenariat avec le CNAM sur les rayons X,
- science et littérature avec une recherche sur les écrivains et la lumière après l'opération « écrire la science »...



Atelier avec des scolaires



### LE MÉDIATEUR, RELAIS QUOTIDIEN POUR LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE

La revue *le Rayon de SOLEIL* en est à sa 14<sup>e</sup> édition. Mais avant ce numéro charnière, *le Rayon de SOLEIL* a déjà dressé un panorama complet des activités scientifiques et des applications attendues à SOLEIL. Peu de synchrotrons en construction ont fait cet effort pour proposer de véritables articles scientifiques à un stade très en amont de leur exploitation.

Avec une diffusion qui avoisine les 3 milliers d'exemplaires *le Rayon de SOLEIL* a couvert nombre de thématiques clefs du programme scientifique de SOLEIL. C'est sans doute dans le numéro 15, prévu mi-2007, que seront publiés les premiers résultats.

En parallèle, un nouveau site web sera également disponible en début d'année 2007 et témoignera de l'entrée de SOLEIL dans sa phase d'exploitation : nouveau graphisme, nouvelle ergonomie, nouveaux contenus se disputeront la vedette sans oublier des parcours personnalisés qui permettront à de non-initiés de nous rejoindre à n'importe quel endroit du site.





## LA CULTURE SCIENTIFIQUE : L'AUTRE MISSION DE SOLEIL

A l'image de la communication pour le grand public, le public scientifique est également venu nombreux visiter SOLEIL. Si les visites du synchrotron lui-même sont possibles depuis six mois pour le grand public, les futurs utilisateurs ont pu, quant à eux, pénétrer en amont sur le site et, pour quelques chanceux, dans l'anneau en construction. De plus en plus, l'équipe de la communication de SOLEIL fonctionne en interaction forte avec les équipes des lignes qui y trouvent aussi leur intérêt. A noter qu'à partir de 2007, SOLEIL accueillera pour des travaux pratiques et des cours, pendant une semaine, les stagiaires de l'Ecole Européenne HERCULES spécialisée pour l'utilisation des techniques Synchrotron et Neutron avec un accompagnement d'actions de communication spécifiques.



Visite du booster



## LA SCIENCE ENSEMBLE, LA SCIENCE AUTREMENT

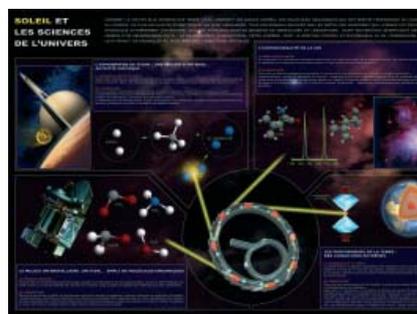
Bus des sciences, théâtre scientifique, animations dans le métro et sur les marchés, mallettes pédagogiques, ateliers de « manips » et conférences à la carte, la boîte à outils SOLEIL s'enrichit chaque année sous l'influence de la demande du public lui-même. Tous les supports produits, toutes les actions organisées par SOLEIL ou auxquelles il participe, sont issus d'une demande du terrain. Car ils sont déjà plusieurs milliers à avoir rencontré les équipes du synchrotron en des occasions particulières ou plus classiques (fêtes de la science dans toute l'Ile-de-France, Forums de métiers en Essonne et ailleurs, journées scientifiques en Région Centre,...). A chaque fois, un seul maître mot : « l'écoute », l'écoute des questions du public, l'écoute de ses doutes et de ses attentes. A SOLEIL chacun est porteur de cette attention. Comme toujours, certains ont été durs à convaincre mais tous ceux qui ont fait l'expérience du dialogue concret « science et citoyen » sont revenus enthousiastes et sont aujourd'hui nos plus ardents porte-parole.

Enthousiasme communicatif, comme en témoigne ce visiteur reçu il y a quelques mois à SOLEIL et qui au salon de l'éducation où nous l'avons retrouvé cette année a pris la parole pour expliquer, à notre place, « comment ça marche SOLEIL ».

Parvenir aujourd'hui à rendre plus familières ces briques élémentaires, c'est s'autoriser demain à pouvoir aller plus loin chez soi, à l'école, au musée. C'est finalement pour SOLEIL tout le sens de son action de diffusion de la science.



Le bus des sciences



Poster de la mallette pédagogique  
*SOLEIL et les sciences de l'univers*

### POUR ALLER PLUS LOIN :

Site web : [www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr)

Contact : • [visite@synchrotron-soleil.fr](mailto:visite@synchrotron-soleil.fr) ou 01 69 35 90 22

• interface pour les enseignants et le public scolaire : 01 69 35 90 17

• questions et suggestions : [webcom@synchrotron-soleil.fr](mailto:webcom@synchrotron-soleil.fr)





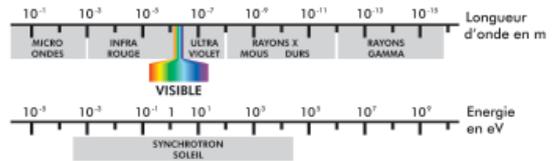
# 7 BONNES RAISONS DE CHOISIR SOLEIL

Les études en amont et au cours de l'installation de SOLEIL ont permis de développer un certain nombre de performances remarquables et d'innovations, liées, en particulier, à l'amélioration de la brillance et de la stabilité du faisceau de photons. Cette combinaison est essentielle pour des expériences utilisant des faisceaux de lumière focalisés sur des échantillons de taille micronique voire sub-micronique et dans une gamme de longueur d'ondes très étendue (de l'infrarouge aux rayons X).



## LE CHOIX DE L'ÉNERGIE DES ÉLECTRONS STOCKÉS (2,75 GEV)

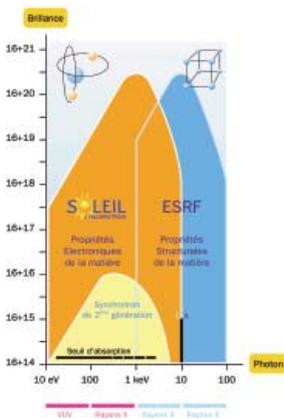
Il a pour but de permettre à SOLEIL de fournir du rayonnement synchrotron à la fois de très haute brillance et couvrant une large gamme de longueurs d'onde : depuis l'infrarouge lointain jusqu'aux rayons X. La durée de vie des faisceaux d'électrons augmente avec leur énergie, ce qui renforce l'intérêt de choisir une valeur élevée d'énergie de stockage. Mais pour une énergie élevée, la contrepartie est un risque de dégradation des systèmes optiques de certaines lignes de lumière à cause de la puissance émise. La valeur finalement choisie, 2,75 milliards d'électron-Volts (GeV), tient compte de ces différents facteurs.



Le rayonnement synchrotron de SOLEIL sera émis de l'infrarouge (1 meV) aux rayons X durs (plus de 50 keV)



## UNE BRILLANCE ÉLEVÉE



La brillance<sup>1</sup> est le principal paramètre utilisé pour évaluer la qualité des synchrotrons. Cette grandeur permet de qualifier à la fois le flux de photons disponibles sur l'échantillon et la possibilité de le focaliser et de l'exploiter avec une très haute résolution spectrale. Une des solutions pour augmenter la brillance est d'équiper l'anneau de stockage d'ondulateurs ayant un grand nombre de périodes magnétiques. L'optique de SOLEIL a donc été particulièrement optimisée dans ce sens : près du tiers de l'anneau de stockage est disponible pour les onduleurs et les wigglers (ce qui constitue une première mondiale). Des solutions innovantes ont été apportées pour optimiser les performances des onduleurs.

<sup>1</sup>nombre de photons émis par seconde, à une certaine longueur d'onde et dans une bande spectrale déterminée, par unité de surface de source et par unité d'angle solide



## DES ÉLECTRONS INJECTÉS PRESQUE EN CONTINU

Pour assurer la stabilité du courant moyen dans l'anneau, gage d'une charge thermique constante sur les systèmes optiques des lignes et donc d'une meilleure stabilité du faisceau de photons, une injection quasi continue du Booster (mode dit « top-up » : injection d'une bouffée d'électrons toutes les deux minutes) est prévue à SOLEIL. Ce mode d'injection, progressivement employé depuis environ 3 ans dans certains centres de 3<sup>e</sup> génération, nécessite une extrême fiabilité de l'ensemble du système d'injection. Le LINAC de SOLEIL, construit et mis au point par Thalès, y contribue remarquablement.





## 7 BONNES RAISONS DE CHOISIR SOLEIL



### UNE DURÉE DE VIE DU FAISCEAU ALLONGÉE (15H)

La durée de vie du faisceau est un paramètre important pour les utilisateurs. En effet, un plus grand nombre d'expériences peut être réalisé si l'on n'a pas à réinjecter d'électrons dans l'anneau, opération entraînant ensuite réglages et ajustements des optiques qui sont autant de perte de temps pour l'expérimentateur. Ceci reste vrai mais, en régime top up, une meilleure durée de vie augmente la durée entre deux injections et minimise les perturbations d'orbite. La durée de vie du faisceau est généralement limitée par les collisions qui ont lieu entre les électrons au sein des paquets circulant dans l'anneau. Un effort particulier a été réalisé sur l'optimisation de l'optique de l'anneau de stockage afin d'assurer la stabilité des électrons, menant à un gain de l'ordre d'un facteur 3 sur les performances habituelles. Ceci permet d'espérer des durées de vie de l'ordre de 15 heures en mode multipaquets (416 paquets d'électrons proches de 85  $\mu\text{m}$ ). Une durée de 10 heures est généralement considérée comme offrant déjà un bon confort d'utilisation. Les utilisateurs apprécieront !



### UN VIDE... ULTRA

La qualité de l'ultra-vide qui règne dans l'anneau est un autre facteur influent sur la durée de vie du faisceau. Grâce à l'emploi de dépôt NEG<sup>1</sup>, dont la particularité est d'avoir un faible taux de désorption (largage des molécules piégées) sous l'action des photons rayonnés, le temps de conditionnement pour obtenir l'ultra-vide a été diminué de l'ordre d'un facteur 10 réduisant ce temps à quelques mois.



<sup>1</sup> Non Evaporating Getter : alliage (titane, zirconium et vanadium) recouvrant les parois de la chambre à vide et piégeant les molécules d'oxygène résiduelles. Déjà employé à l'ESRF, c'est à SOLEIL que ce matériau est utilisé à grande échelle pour la première fois : il couvre les parois des chambres à vide de toutes les sections droites de l'anneau.



### UN SYSTÈME RADIOFRÉQUENCE SUR MESURE

Les performances de brillance peuvent être limitées par des oscillations longitudinales des électrons à l'intérieur de paquets induits dans les cavités radiofréquence qui fournissent le champ accélérateur nécessaire au faisceau. Afin d'éliminer ce phénomène, des cavités supra-conductrices ont été spécialement conçues pour l'anneau de SOLEIL. Elles permettent d'amortir les modes parasites responsables de ces oscillations et assurent une très grande stabilité du faisceau. De plus la puissance RF est fournie à ces cavités par des systèmes à amplificateur solide, une technologie élégante et fiable, imaginée au LURE et mise au point à SOLEIL, qui devrait avoir des applications importantes dans d'autres secteurs.



### DES FAISCEAUX DE PHOTONS EXTRÊMEMENT STABLES

Trois facteurs principaux ont été pris en compte :

- Stabilité du bâtiment : elle est assurée par une dalle épaisse flottant sur 600 pieux en béton ancrés profondément à 15 m dans les sables de Fontainebleau du plateau de Saclay. Elle permet une stabilité de l'ordre de 0,3  $\mu\text{m}$ .
- Stabilité du faisceau d'électrons : elle a été très travaillée à différents niveaux. Tous les aimants, dont dépend la trajectoire des électrons, sont installés sur des supports (poutres) qui évitent les modes de vibration indésirables. De plus des moniteurs de position du faisceau et un système de correction et de guidage calculent et ajustent en permanence cette trajectoire. La stabilité locale escomptée de la position du faisceau d'électrons sur une durée de quelques heures est de l'ordre du micron.
- Optimisation des lignes de lumière : de nombreuses lignes de lumière sont particulièrement compactes, car plus le trajet des photons entre les différents éléments d'optique est long, plus les effets de fluctuation de dimension du faisceau sont importants. Le refroidissement des optiques de collection a aussi été optimisé.





## L'ATTRIBUTION DU TEMPS DE FAISCEAU

L'accès aux lignes de lumière de SOLEIL est ouvert aux scientifiques venant de France, d'Europe et du monde entier : chercheurs et ingénieurs appartenant à un organisme de recherche publique ou privé mais aussi utilisateurs industriels. Les projets déposés par les utilisateurs potentiels se voient attribuer ou non du temps de faisceau de SOLEIL selon des modalités de sélection dépendant de l'origine des demandeurs et du type de projet.

### RÉPARTITION DU TEMPS DE FAISCEAU

Le temps de faisceau pour les utilisateurs sera disponible 24 heures sur 24 et 6 jours par semaine, excepté lors des coupures planifiées pour la maintenance de la machine. Il sera alloué par tranches de 8 heures (« shifts » de 8h à 16h, de 16h à minuit et de minuit à 8h).

Le temps de faisceau effectivement disponible pour les utilisateurs est d'environ 5 500 heures par an. Sur une ligne en exploitation normale, il sera réparti de la manière suivante :

- **65 %** pour les utilisateurs dont les projets seront évalués dans le cadre des Comités de Programmes ;
- **10 %** maximum pour l'utilisation en mode « facturé », hors Comités de Programmes ;
- **20 %** pour la maintenance de la ligne de lumière, l'amélioration des expériences et pour la recherche propre des chercheurs, étudiants et post-doctorants de SOLEIL ;
- Une fraction supplémentaire, de **5 %** maximum, pourra être réservée pour les accès rapides.

Pour décider de l'attribution du temps de faisceau, deux appels à projets sont prévus chaque année. Le premier appel à projets a été clos en novembre 2006, pour une allocation du temps de faisceau couvrant exceptionnellement toute l'année 2007.

### UTILISATION DES ÉQUIPEMENTS DE SOLEIL EN MODE « PUBLIC »

SOLEIL met en place un système d'évaluation par les pairs pour l'attribution du temps de faisceau, dans le cadre de la recherche non confidentielle.

Les demandes de temps de faisceau sont ainsi soumises à un, voire plusieurs, Comité(s) de Programmes en charge de les noter sur la base de leur mérite (excellence scientifique en premier lieu, faisabilité technique). Les dossiers de demande présentent en détail les objectifs de la recherche menée et une justification de la demande de temps de faisceau.

Après examen de ces dossiers, les Comités de Programmes proposent à la Direction de SOLEIL leur acceptation ou bien leur rejet et propose le nombre de shifts attribué à chaque projet retenu. Le temps de faisceau est ensuite alloué dans un délai de 4 à 9 mois.

Cet accès gratuit aux équipements de SOLEIL s'adresse aussi bien aux laboratoires publics qu'aux industriels. Il est assorti d'une obligation de publier rapidement leurs résultats expérimentaux.





## L'ATTRIBUTION DU TEMPS DE FAISCEAU



### UTILISATION DES ÉQUIPEMENTS DE SOLEIL EN MODE « FACTURÉ »

SOLEIL propose également un accès payant pour les utilisateurs qui souhaitent conserver la confidentialité de leur recherche ou qui souhaitent bénéficier d'un accès rapide. Cet accès direct, qui concerne principalement les entreprises industrielles ou de service, allège les procédures, évite le passage par les Comités de Programmes et donc réduit les délais.

L'allocation du temps de faisceau dans le cadre de ces accès payants est laissée à la discrétion de la direction de SOLEIL dans la limite de 10 % du total d'allocation du temps de faisceau à SOLEIL.

#### **POUR ALLER PLUS LOIN :**

Le Groupe des Relations Industrielles et des Grands Enjeux de Société (GRIGES) est en charge des relations avec les utilisateurs souhaitant obtenir un accès payant.

**Contact :** philippe.deblay@synchrotron-soleil.fr ou 01 69 35 90 05  
jean.doucet@synchrotron-soleil.fr ou 01 69 35 90 25

SOLEIL offre également à ses utilisateurs français un accès à tarif réduit si leurs recherches s'inscrivent dans le cadre d'un projet labellisé par un programme régional, national ou européen reconnu par SOLEIL. En contrepartie de ce tarif préférentiel, les bénéficiaires de ce type d'accès sont soumis à l'obligation de publier rapidement leurs résultats expérimentaux.



### ACCÈS À LA CARTE

Outre les accès standards majoritaires, SOLEIL offrira également quelques accès à long terme ou rapides, de manière à couvrir l'ensemble des besoins de tous ses utilisateurs.

Types d'accès	Répartition	Période d'allocation du temps de faisceau
Standard	Majoritaire	Six mois
A long terme	Minoritaire	Deux ans (exceptionnellement trois ans)
Accès rapide	Très minoritaire	Accès rapide

#### **POUR ALLER PLUS LOIN :**

Les 7 Comités de programmes, animés par des experts internationaux des domaines concernés, couvrent aujourd'hui les disciplines suivantes :

- surfaces / interfaces / nano-objets préparés *in situ*
- physique et chimie de la matière diluée / astrophysique / atmosphère
- chimie phase condensée / nanochimie / matière molle
- physique du solide / matériaux / nanosciences : propriétés électroniques
- physique du solide / matériaux / nanosciences : structures
- sciences de la vie / santé
- sciences de la terre (géophysique, géochimie) / environnement / archéologie / patrimoine





# PANORAMA D'UNE CONSTRUCTION

La construction de SOLEIL a débuté en 2001 avec les sondages du terrain et les fouilles archéologiques. Elle s'est achevée en 2006 avec la livraison des derniers bâtiments. Qu'ont mis au jour les fouilles ? De quoi est fait SOLEIL ? Combien de m<sup>3</sup> de béton ont été nécessaires ? Quelques éléments pour nourrir votre curiosité...

## LES FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES

Comme pour toute construction de grande envergure, le chantier de SOLEIL a fait l'objet d'une étude archéologique préalable. La première campagne d'investigations géologiques a été réalisée en 2001 par l'INRAP<sup>1</sup> et a mis à jour les témoins (fosses, enclos, morceaux de céramiques) d'une zone d'habitation rurale datant des époques gauloise et gallo-romaine. Il a donc été décidé d'effectuer des fouilles complémentaires sur trois secteurs où les vestiges étaient plus denses. Achevée fin juin 2002, cette opération a permis de lever la contrainte archéologique sur le site. Les résultats de ces fouilles feront en 2007 l'objet d'une exposition intitulée « Matière à fouilles, fouilles dans la matière ».

1 : Institut National de Recherches Archéologiques Préventives



Mise au jour d'un four gallo-romain

## PEU A PEU, LES BÂTIMENTS DE SOLEIL



Vue d'ensemble du terrain avant les travaux



Vue aérienne des terrassements, voiries et parking



Vue d'ensemble des pieux du hall du synchrotron



Vue aérienne de la jonction Linac et ligne de transfert 1



Vue du radier Linac et Booster



Poteaux au coeur du synchrotron



Vue générale du synchrotron en juin 2004



Installation des poutres du synchrotron



Sortie de terre d'un des bâtiments techniques



Bâtiment d'administration



Bâtiment d'accueil et d'information



Vue générale du site aujourd'hui

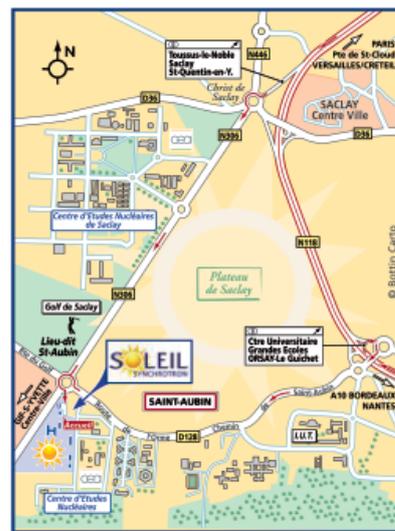


Le site est localisé au lieu dit L'Orme des Merisiers, sur la commune de Saint-Aubin.

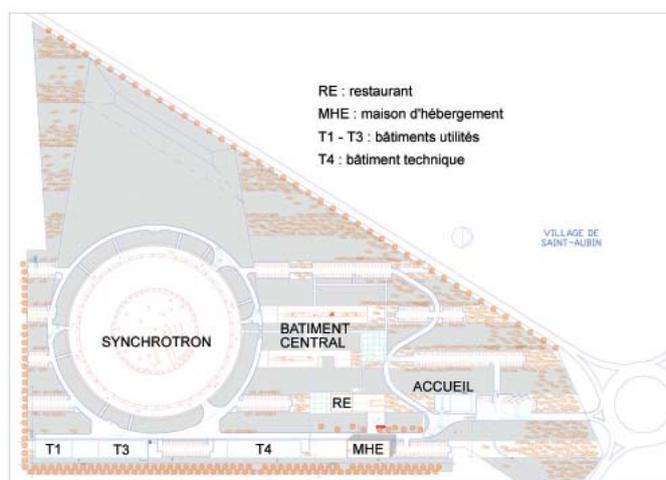
D'une surface de 16,5 hectares, il est bordé au Sud et à l'Est par un centre du CEA (auquel SOLEIL loue ce terrain), et au Nord-Ouest par la RN 306.

Les constructions comprennent : le bâtiment synchrotron, les bâtiments techniques, le bâtiment central (bureaux), le restaurant, le bâtiment d'accueil et d'information du public, ainsi qu'une maison d'hébergement pour les utilisateurs.

Cette « maison des chercheurs » s'inscrit, sur le plan de masse, dans le prolongement du bâtiment technique T4. Quarante chambres sont prévues dans un premier temps, en gardant une possibilité d'extension à 80 chambres.



Plan d'accès



Plan de masse

#### POUR ALLER PLUS LOIN :

- Le bois utilisé (6 311 m<sup>2</sup>) pour la construction est du pin Douglas (purgé d'aubier) car cet arbre n'a pas besoin de traitement particulier pour sa conservation sur le long terme.
- Les différentes essences plantées par SOLEIL sur son site sont principalement celles que l'on trouve naturellement sur le plateau de Saclay : *alnus glutinosa*, *fraxinus tomentosum*, *quercus palustris*, *betula pendula*... 73 arbres et environ cinq fois plus d'arbustes (dont nombre de noisetiers) ont été plantés sur le site. D'autre part, tous les arbres (sauf 1) présents avant la construction ont été conservés.
- Le synchrotron repose sur 595 pieux, ancrés à 15 m de profondeur dans les sables de Fontainebleau.
- Quelques chiffres concernant SOLEIL :
  - > Le site occupe 16,5 hectares (soit 165 000 m<sup>2</sup>).
  - > La surface construite représente 41 000 m<sup>2</sup> répartis entre les bâtiments tertiaires (9 600 m<sup>2</sup>), les bâtiments techniques et le synchrotron (31 400 m<sup>2</sup>).
  - > 35 302 m<sup>3</sup> de béton ont été nécessaires à la construction de SOLEIL : 2 028 m<sup>3</sup> pour le bâtiment central, le restaurant et l'accueil, 3 303 m<sup>3</sup> pour les bâtiments T1, T2, T3, T4 ainsi que le synchrotron, 14 100 m<sup>3</sup> pour les 595 pieux, et le reste pour la « zone noble » du synchrotron (partie sur laquelle reposent machine et lignes de lumière).
- La consommation en électricité de SOLEIL s'élève à environ 60 GWh/an!





# AU CŒUR DES ACCÉLÉRATEURS ET DES LIGNES DE LUMIÈRE



# AU CŒUR DES ACCÉLÉRATEURS ET DES LIGNES DE LUMIÈRE

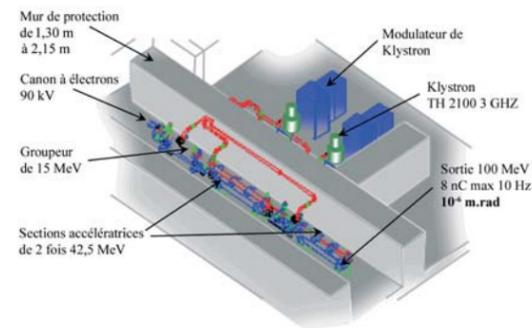
Centre de rayonnement synchrotron de troisième génération, SOLEIL permet d'explorer la matière avec une résolution de l'ordre du milliardième de mètre. Visite guidée au cœur du synchrotron le plus performant au monde dans sa gamme d'énergie.

## LE LINAC, LA « RAMPE DE LANCEMENT » DES ÉLECTRONS

Le LINAC (LINear ACcelerator), accélérateur linéaire d'une longueur de 16 m, est le premier maillon de la chaîne. Son rôle est de fabriquer un faisceau d'électrons pulsés (des bouffées de 300 ns, trois fois par seconde) d'énergie de 100 MeV.

Il est constitué :

- d'un canon à électrons (comparable à celui que l'on trouve dans un téléviseur) produisant des électrons de 90 keV qu'un champ électrique regroupe en paquet de la taille d'un cheveu,
- d'un groupeur faisant voyager les électrons issus du canon sur une onde électromagnétique jusqu'à ce que ces derniers atteignent la vitesse de la lumière et une énergie de 15 MeV,
- de deux sections accélératrices de 3 m de long au sein desquelles un générateur d'énergie, appelé klystron, injecte une onde électromagnétique de 3000 MHz, sur laquelle surfent les paquets d'électrons accumulant au total une énergie de 100 MeV.



Une ligne de transport constituée d'aimants de guidage et de focalisation, permet, après une sélection en énergie, de transférer les électrons issus du LINAC vers le point d'injection dans le Booster, et d'adapter les caractéristiques du faisceau pour qu'il pénètre dans le Booster avec un bon rendement (90 %).

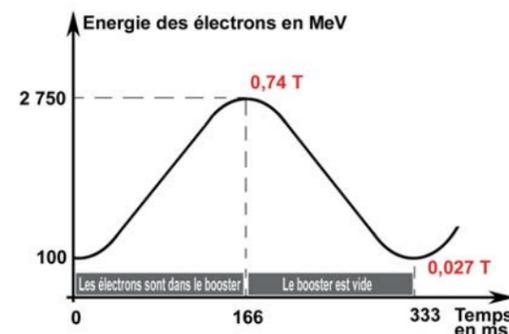
## LE BOOSTER : LA RONDE ENDIABLÉE DES ÉLECTRONS

A la sortie du LINAC, les électrons entrent dans le Booster, synchrotron de 157 m de périmètre. En une fraction de seconde, leur énergie va passer de 100 MeV à 2750 MeV (2,75 GeV) par une accélération due à un champ électrique généré par une cavité radiofréquence (352 MHz). Pendant cette montée en énergie, les dimensions transverses du faisceau vont être comprimées.

L'aimantation dans les dipôles du Booster varie de 0,027 T (lorsque les électrons entrent dans le Booster avec une énergie de 100 MeV) à 0,74 T (lorsque les électrons atteignent l'énergie de 2,75 GeV et vont quitter le booster).

Une fois que les électrons ont atteint l'énergie de 2,75 GeV, ils sont extraits du Booster pour être envoyés vers l'anneau de stockage, via une ligne de transport constituée elle aussi d'aimants de guidage et de focalisation.

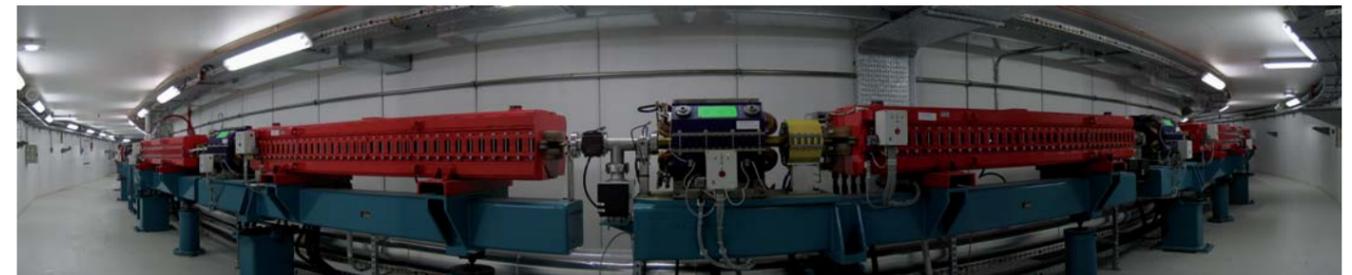
Pour atteindre le courant nominal de 500 mA dans l'anneau, le cycle production et accélération des électrons par le LINAC / accélération dans le Booster / injection dans l'anneau est répété environ 300 fois à un rythme de 3 fois par seconde, c'est-à-dire pendant une durée de 2 minutes. Puis le LINAC et le Booster sont mis en attente pendant plusieurs heures jusqu'à ce qu'il soit nécessaire de réinjecter des électrons dans l'anneau.



Pendant la montée en énergie, les électrons sont dans le booster. Ensuite, lors de la diminution du champ, dans la deuxième partie de la courbe, le booster est vide, les électrons ayant été transférés dans l'anneau. Pour passer de 100 à 2750 MeV en 166 ms, les électrons font environ 300 000 tours dans le booster.

Si l'énergie des électrons qui tournent dans l'anneau est un paramètre crucial pour les performances de l'installation, sa taille est quant à elle un critère distinct qui conditionne le nombre de sections droites (dans lesquelles sont insérés les onduleurs) et donc le nombre de lignes de lumière et le nombre d'expériences que l'on peut y installer. Même si le programme ne prévoit, dans un premier temps, que la construction de 25 lignes de lumière, SOLEIL est en effet conçu pour pouvoir exploiter jusqu'à 43 lignes. Le choix de couvrir un très large domaine spectral, de l'Infrarouge aux rayons X, ne s'est accompagné d'aucun compromis. Toutes ces caractéristiques témoignent d'un synchrotron de 3<sup>e</sup> génération au plus haut niveau de la compétition internationale.

Énergie	2.75 GeV
Circonférence	354 m
Nombre et longueur des sections droites	4 x 12 m 12 x 7 m 8 x 3.5 m
Emittance H	3.7 nm.rad
Emittance V	37 pm.rad
Courant multi-paquets	500 mA
Durée de vie	15 h



Panoramique du Booster



Prises de vues dans l'anneau de stockage



Panoramique de l'anneau de stockage





L'ANNEAU DE STOCKAGE : LA PISTE DE FOND DES ÉLECTRONS

Les électrons relativistes sont transférés dans l'anneau de stockage pour y tourner avec une énergie de 2,75 GeV pendant plusieurs heures. Les électrons circulent à l'intérieur d'un tube d'environ 5 cm de diamètre dans lequel règne un vide très poussé (10<sup>-9</sup> mbar), afin de minimiser les collisions qu'ils pourraient avoir avec les atomes de gaz résiduels. L'anneau de stockage est constitué d'une succession :

- de virages où se trouvent les éléments magnétiques de courbure (appelés aussi aimants de courbure ou dipôles),
- de parties rectilignes où se trouvent les éléments magnétiques de focalisation (quadrupôles et sextupôles) qui permettent de réduire la taille du faisceau à 4 dixièmes de mm de large et 2 centièmes de mm de haut (soit l'épaisseur d'un cheveu),
- de sections droites où seront placés les éléments magnétiques d'insertion (wiggler et onduleur) qui, en faisant osciller la trajectoire du faisceau d'électrons, produisent le rayonnement synchrotron.

Sur les 354 m de circonférence de l'anneau de SOLEIL, 29 % de sections droites sont destinées à recevoir des éléments magnétiques d'insertion, ce qui en fait actuellement la machine la mieux optimisée comme source de rayonnement synchrotron.

Chaque fois que les électrons se déplacent de façon non rectiligne et non uniforme (ce qui est le cas dans les dipôles et les éléments magnétiques d'insertion), ils subissent une accélération et perdent de l'énergie sous forme de rayonnement synchrotron. La perte d'énergie est compensée par deux cavités accélératrices.



Les 32 dipôles ou aimants de courbure de SOLEIL guident la trajectoire des électrons en les faisant tourner et produisent la lumière synchrotron.



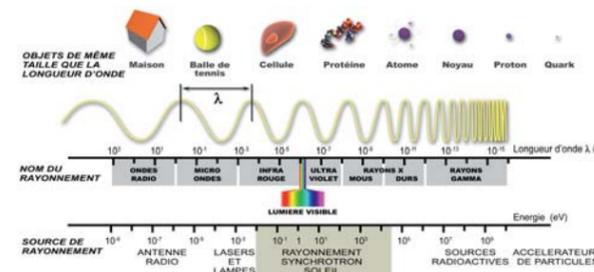
Les 160 quadrupôles assurent la focalisation du faisceau d'électrons.



Les 120 sextupôles assurent un complément de focalisation.



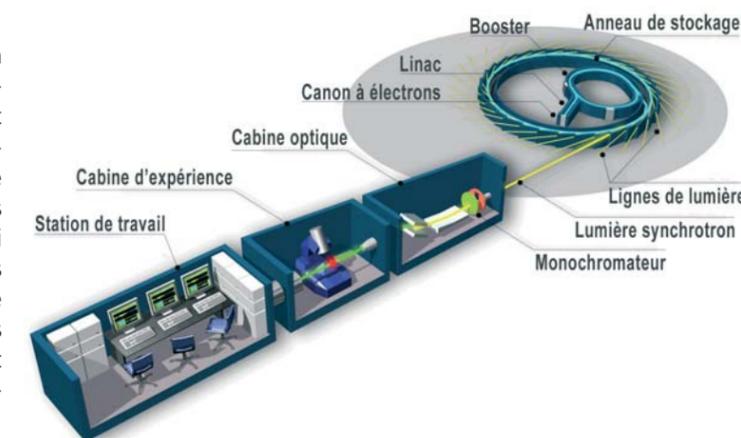
LES LIGNES DE LUMIÈRE : DES LABORATOIRES EXPÉRIMENTAUX SUR MESURE



Les expériences se déroulent dans des lignes de lumière qui sont des « laboratoires » d'une vingtaine de mètres de long en moyenne. L'émission synchrotron se produit de l'infrarouge aux rayons X durs. Chaque utilisateur peut sélectionner, dans la gamme définie pour la ligne, la longueur d'onde adaptée à l'expérience qu'il conduit. Les lignes de lumière sont complémentaires les unes des autres et chacune d'entre elles est orientée pour des techniques, des domaines de recherche et des applications particulières.

La cabine optique

C'est la première cabine où arrive, d'un aimant de courbure ou d'un élément d'insertion, le faisceau de lumière. Miroirs et monochromateurs sélectionnent la longueur d'onde nécessaire à l'expérience et focalisent le faisceau. Les dispositifs optiques et toute l'instrumentation qui les accompagne ont été définis, fabriqués et testés un par un pour chaque ligne de lumière. Ce sont des objets de très haute technologie dont la mise au point conditionne beaucoup la qualité des expériences réalisées.

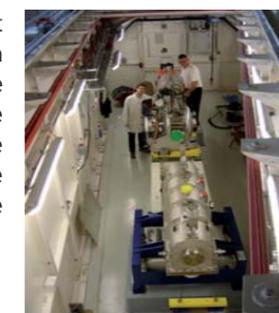


La cabine expérience

L'échantillon à étudier, généralement très petit (<mm) et très complexe, est positionné sur son support. Lorsqu'il reçoit la lumière incidente, il répond de diverses manières. Cette réponse est enregistrée par un ou plusieurs détecteurs qui dépendent du type d'émission : la précision du positionnement de l'échantillon et de la trajectoire du faisceau incident doit être très fine, étant donné les petites dimensions du faisceau comme de l'échantillon. A SOLEIL, les cabines optiques et certaines cabines expérimentales (en particulier celles destinées à recueillir des rayons X) sont entourées de murs de plomb afin d'éviter toute émission de faisceau de rayonnement synchrotron vers l'extérieur de la ligne de lumière.

La station de travail

Les équipes de recherche de SOLEIL pilotent les expériences. Elles mettent au point les montages expérimentaux, accueillent les utilisateurs, les guident dans l'utilisation des équipements ou réalisent avec eux l'expérience, selon leurs besoins. A cette phase d'expérimentation proprement dite et d'enregistrement des résultats, succède la phase d'analyse des données pour laquelle les équipes SOLEIL travaillent encore en étroite collaboration avec les utilisateurs. Chaque équipe de ligne développe également ses propres sujets de recherche, assurant ainsi une veille scientifique très fine dans son domaine et produisant des résultats de premier plan.



Dans la cabine optique de DIFFABS

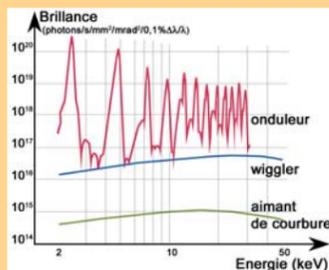
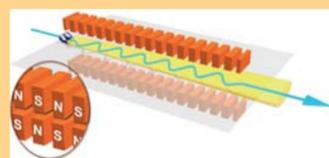
POUR ALLER PLUS LOIN :

Les éléments magnétiques d'insertion (onduleur et wiggler) sont formés de deux mâchoires faites de petits aimants juxtaposés qui obligent les électrons à suivre une trajectoire ondulée. A chaque ondulation, l'électron subit une accélération et émet de la lumière. Les propriétés (intensité, longueur d'onde) de lumière émise dépendent du type d'élément (onduleur ou wiggler) et de ses caractéristiques.

Le spectre émis par un wiggler est continu comme celui d'un aimant de courbure mais avec un décalage vers les courtes longueurs d'onde et avec une plus grande brillance.

Dans un onduleur, certaines longueurs d'onde se trouvent « favorisées » et l'on obtient un spectre de raies. La brillance du rayonnement émis est ainsi considérablement augmentée.

Spectres des émissions de rayonnement synchrotron dues aux électrons dans les différents éléments magnétiques





# LES TECHNIQUES DISPONIBLES SUR LES INSTALLATIONS EXPÉRIMENTALES

La brillance et la gamme spectrale de compromis de SOLEIL lui permettent de couvrir une large gamme expérimentale : fluorescence, absorption et diffraction de rayons X, spectro-microscopie infrarouge, spectroscopie ultraviolet-visible, etc. Comment ces différentes méthodes d'analyse se répartissent-elles sur les lignes de lumière ?



## UNE PLATEFORME MULTITECHNIQUE AU SERVICE DE NOMBREUSES APPLICATIONS

La diversité des modes d'interaction lumière-matière et la gamme très étendue en énergie de la lumière synchrotron, de l'infrarouge jusqu'aux rayons X, conduit à une large palette de techniques analytiques. Ces techniques fournissent des informations complémentaires intéressant aussi bien le chercheur universitaire que les industriels lors des phases de recherche et développement de nouveaux produits ou de mise au point des procédés de fabrication.

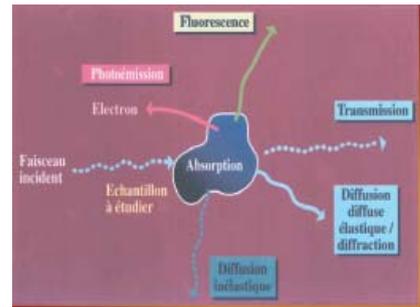


Schéma explicatif simplifié des différents phénomènes résultant de l'interaction entre lumière et matière



## LA NATURE DES INFORMATIONS

- structurale, avec accès aux architectures moléculaires et supramoléculaires,
- chimique, avec accès à la composition élémentaire, aux fonctions et réactions chimiques,
- électronique et magnétique, avec l'analyse de la structure électronique et du comportement magnétique des matériaux,
- morphologique, avec visualisation en deux ou trois dimensions de détails très fins dans des structures complexes et hétérogènes.



## LES QUATRE FAMILLES DE TECHNIQUES

### Les techniques de diffraction/diffusion des rayons X : information structurale

Elles sont basées sur la déviation angulaire des photons X par la matière. Les photons déviés peuvent interférer et donner lieu à une répartition très particulière des faisceaux dans l'espace lorsque les atomes et molécules sont agencés avec une certaine régularité, en particulier dans les cristaux. L'analyse de la répartition angulaire et des intensités des faisceaux permet de remonter à cet agencement, et d'en suivre les modifications induites par différents facteurs : produits chimiques, contraintes mécaniques, température, pression, etc. Ces techniques sont donc de puissants outils de recherche pour comprendre les propriétés des matériaux, les identifier ou encore contrôler leur qualité après fabrication, en fonctionnement et au cours du vieillissement.

La diffraction des rayons X s'utilise pour les matériaux cristallisés (cristal unique ou poudre cristalline) ou partiellement cristallisés (fibres, systèmes lamellaires, etc.). La diffusion des rayons X aux petits angles est adaptée à l'étude des matériaux hétérogènes, composites, suspensions, colloïdes.

### Les techniques de spectroscopie IR, UV et X : information chimique

Les spectroscopies, qu'elles concernent les domaines de l'infrarouge, de l'ultraviolet ou des rayons X, fournissent des informations sur la nature des éléments chimiques, le degré d'oxydation, la nature des molécules ou groupements chimiques, l'environnement d'un atome donné, ces différents paramètres peuvent être suivis en temps réel, pendant des réactions chimiques par exemple. Les spectroscopies constituent donc de précieuses sondes pour révéler la nature chimique et suivre les modifications chimiques dans des conditions très variées, pour tous types de matériaux.





## LES TECHNIQUES DISPONIBLES SUR LES INSTALLATIONS EXPÉRIMENTALES

Dans le domaine des rayons X, les techniques sont la fluorescence X pour la détection des éléments, la spectroscopie d'absorption près du seuil (XANES) pour la mesure du degré d'oxydation et la spectroscopie d'absorption (EXAFS) pour l'analyse de l'environnement chimique local autour d'un atome donné. Elles se pratiquent sur tous les types d'échantillons: cristallin, amorphe, liquide ou gazeux.

Les spectroscopies infrarouge et ultraviolet sont sensibles aux fonctions chimiques et bien adaptées à l'analyse des matériaux organiques et biologiques, notamment à leur identification, au suivi des processus de diffusion et aux transformations de toutes sortes qu'ils peuvent subir.

### **Les techniques d'analyses électronique et magnétique**

La spectroscopie de photoémission d'électrons permet d'étudier les propriétés électroniques des surfaces, des films minces et des interfaces. La lumière synchrotron bénéficie particulièrement à cette technique grâce à l'accordabilité en énergie, la polarisation et la brillance du rayonnement. Ainsi, le choix de l'énergie autour du seuil d'ionisation d'une couche interne de l'élément étudié augmente considérablement la sensibilité, ce qui est très important pour caractériser des couches minces ou des interfaces enterrées. La technique de photoémission couplée à un microscope électronique conduit à la technique PEEM, dont la résolution est de quelques dizaines de nanomètres.

Des optiques particulières permettent de transformer la polarisation linéaire naturelle de la lumière synchrotron en polarisation circulaire. La technique de dichroïsme circulaire magnétique (XMCD), basée sur la mesure de la différence des spectres d'absorption en énergie en polarisation circulaire droite et gauche, fournit des informations sur les propriétés magnétiques de l'atome sondé, comme son spin et son moment magnétique orbital.

### **Les techniques d'imagerie et de radiographie : morphologie**

La première famille concerne l'imagerie par balayage qui s'applique à presque toutes les techniques de diffraction / diffusion et de spectroscopie décrites ci-dessus. La possibilité d'obtenir des faisceaux de lumière synchrotron de quelques dizaines de nm à quelques  $\mu\text{m}$ , selon les énergies, permet de cartographier les échantillons et d'en obtenir des visualisations structurales, chimiques ou encore magnétiques.

La deuxième famille est celle des microscopies X plein champ. Leur résolution spatiale est moins bonne que celle de la microscopie électronique, en revanche elles permettent de s'affranchir de préparations spécifiques des échantillons et même de travailler en environnement naturel, aqueux par exemple.

La troisième famille comprend les techniques de type radiographique. La faible taille des sources, le caractère monochromatique et la faible divergence de la lumière synchrotron conduisent à un accroissement du contraste et à une meilleure finesse par rapport aux images fournies par les appareils classiques. Les images de morphologie obtenues sont soit des projections classiques sur un plan, soit des reconstructions tomographiques à trois dimensions.



## QUELS AVANTAGES PROCURE LE RAYONNEMENT SYNCHROTRON ?

L'utilisation de la lumière synchrotron procure des avantages souvent décisifs pour l'analyse des matériaux car elle permet de gagner des ordres de grandeurs dans la qualité des mesures par rapport à l'utilisation des sources classiques de lumière. Outre le fait que les techniques de spectroscopie d'absorption de rayons X ne se pratiquent qu'avec la lumière synchrotron, les atouts majeurs des techniques tiennent surtout au haut flux et à la faible divergence des faisceaux :

- rapport signal / bruit très élevé qui permet des mesures de qualité inégalée,
- microanalyse, à une échelle submicrométrique le plus souvent,
- possibilité d'analyser des échantillons de quelques micromètres,
- suivi de phénomènes cinétiques en temps réel, jusqu'à la microseconde,
- possibilité d'analyse simultanée multi-techniques.





## QUELQUES FAITS MARQUANTS...

### 2006

**18 décembre** : inauguration

**13 octobre** : démarrage de ODE

**21 septembre** : démarrage de TEMPO

**20 septembre** : 300 mA dans l'anneau

**13 septembre** : démarrage de DIFFABS

**4 juin** : Les premiers électrons sont stockés dans l'anneau et font leurs premiers milliers de tours. Dans la salle de commande de la machine, la première trace de la lumière SOLEIL s'inscrit sur l'écran de contrôle.

**12 mai** : l'équipe au complet prépare le plan de travail du week-end et revoit les dernières consignes. Dans la nuit du 13 au 14 mai, les électrons feront leurs premiers neuf tours. SOLEIL a démarré !



### 2005

#### **20 octobre : le Booster tourne**

L'anneau accélérateur, appelé Booster, entre en fonctionnement lui aussi et atteint ses performances nominales en à peine 80 heures. Une performance saluée par tous les spécialistes.

#### **2 juillet : le LINAC fonctionne**

8h30 : le canon propulse les premiers électrons de SOLEIL qui passent de 0 à 100 MeV dans les trois cavités accélératrices avant d'atteindre la ligne de transfert vers le Booster. Le démarrage parfait de ce LINAC, réalisé par Thalès, est une étape essentielle.

### 2004

#### **22 juin : inauguration de la première ligne de lumière de SOLEIL**

Elle s'appelle LUCIA, rejoindra SOLEIL en 2008 pour des études de micro-absorption et de micro-fluorescence (synchrotron suisse SLS).

#### **9 janvier : les fondations sont creusées**

Ce ne sont pas moins de 595 pieux qui soutiendront le bâtiment synchrotron et assureront sa stabilité. Cette phase de la construction a démarré en octobre 2003.





## QUELQUES FAITS MARQUANTS...



### 2003

**5 août :** la construction du bâtiment synchrotron et des bâtiments techniques est attribuée au groupement « Chantiers Modernes / GTM / Eiffage TP / Solétancge-Bachy / Fargeot ».

**22 avril : le terrassement démarre**

Dans cette première phase, il s'agit de préparer le terrain : décapage des limons, préservation de la terre végétale pour l'aménagement paysager, assainissement et drainage.

### 2002

**Décembre :** signature de la Convention avec la Région Centre

**6 novembre:** la délivrance du permis de construire

La mairie de Saint-Aubin délivre le permis de construire SOLEIL. La construction peut démarrer également sur le terrain.

**5 février :** la signature de la Convention Région Ile-de-France / Conseil général de L'Essonne / État / SOLEIL

Cette convention organise les modalités du partenariat qui lie SOLEIL à l'État et aux Collectivités Territoriales qui le soutiennent. Elle prévoit aussi de favoriser des PME/PMI à l'utilisation des techniques synchrotron, de garantir une bonne utilisation de SOLEIL par les scientifiques de la région et de participer à la politique de développement de la culture scientifique impulsée par ces collectivités en direction du grand public et du public scolaire.

**Février à mai :** fouilles archéologiques sur le site

### 2001

**16 octobre :** la création de la société « Synchrotron SOLEIL »

La société « Synchrotron SOLEIL » est créée ; l'équipe compte alors une quarantaine de personnes et s'appuie sur de nombreux collaborateurs du LURE. La phase de construction démarre officiellement comme prévu, le 1<sup>er</sup> janvier 2002, date à laquelle la société a acquis son autonomie de fonctionnement.



### 2000

**11 septembre :** la décision de construire SOLEIL est annoncée

Le Ministre de la Recherche annonce la décision de construire SOLEIL à Saint-Aubin, sur le site de l'Orme des Merisiers, en Essonne. Le cadre juridique retenu par le Ministre pour SOLEIL est celui d'une Société Civile. Les collectivités territoriales, Région Ile-de-France et Conseil général de l'Essonne, qui avaient activement soutenu le projet SOLEIL, apportent leur concours à la construction de l'installation et s'engagent, en partenariat avec l'État, à la financer à hauteur respectivement de 148,6 M€ et 34,3 M€.





# FOCUS SUR QUELQUES FOURNISSEURS DE L'INSTRUMENTATION POUR LES ACCÉLÉRATEURS ET LES LIGNES DE LUMIÈRE



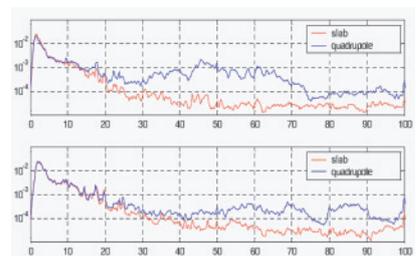
## THALES UNE COOPÉRATION RÉUSSIE AUTOUR DU LINAC

Le LINAC (accélérateur linéaire qui produit les électrons et les accélère jusqu'à 100 MeV) a été réalisé par THALES, en étroite collaboration avec les experts de SOLEIL. THALES a ainsi pu construire un accélérateur très performant, ce qui lui a permis d'emporter le marché d'un second LINAC pour le futur synchrotron espagnol.



## AVLS, UNE PME LOCALE À NOS CÔTÉS DEPUIS LE DÉBUT

AVLS est une entreprise spécialisée dans les études et les mesures de vibrations. AVLS a réalisé en 2001 les mesures de vibrations sur le site nu de SOLEIL, puis sur les poutres de l'accélérateur, avant de qualifier le niveau vibratoire final dans le bâtiment synchrotron.



## DE LA CONCEPTION DE NOUVEAUX RÉSEAUX AVEC JOBIN YVON JUSQU'AUX MÉTHODES D'ANALYSE *IN SITU* AVEC IMAGIN'OPTIC

JOBIN YVON, est leader mondial dans la fabrication de réseaux de diffraction pour l'optique et les télécommunications. Sur des idées étudiées à SOLEIL, il a développé pour les lignes de lumière des réseaux innovants à profondeur variable ou à revêtement multicouches. IMAGIN'OPTIC est une jeune entreprise spécialisée dans l'analyse de surface d'onde. Elle a développé pour SOLEIL un capteur 2D de très haute sensibilité pour contrôler la forme des miroirs.



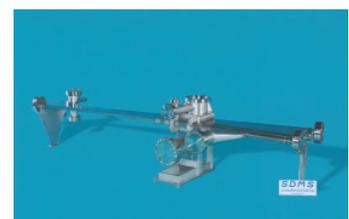
## LA BRETAGNE, AVEC SIGMAPHI...

Sigmaphi est une entreprise spécialisée dans la construction de bobines et d'électro-aimants. Sigmaphi a réalisé les 44 aimants dipôles du Booster et les 120 aimants sextupôles de l'anneau.



## ... OU LA DRÔME, AVEC SDMS

SDMS est une société spécialisée dans la chaudronnerie « blanche ». Cette société a réalisé près de 150 chambres à vide pour l'anneau de stockage, en inox ou en aluminium.





## **FOCUS SUR QUELQUES FOURNISSEURS DE L'INSTRUMENTATION POUR LES ACCÉLÉRATEURS ET LES LIGNES DE LUMIÈRE**



### **ILS ONT PARTICIPÉ À LA CONSTRUCTION DES BÂTIMENTS ET DES LOTS TECHNIQUES**

#### **En France**

• Agrigex Environnement • Atelier d'architecture Chaix & Morel Ass. • Bouygues • Chantiers Modernes • COPIBAT • EDF-GDF • INGEROP • MEDINGER • Nordon • Norisko • OTH Méditerranée • Qualiconsult • PONTICELLI • SCREG • SNEF...



### **ILS ONT PARTICIPÉ À L'INSTRUMENTATION DE SOLEIL**

#### **En France**

• Agilent Technologie • Air Liquide • Alcatel • ALMAPRO • ALNIP SA • Ateliers Roche • AXMO Precision • Berger Lahr Positec • Bouetard Frères • Bruker SA • Caratelli • COFHATEC • CREAMECA • DELL • Devoteam • Ecrin Systems • ELEXIENCE • Emerson (Solartron-Mobrey) • EREMAP1 • EURO THERM Automation • Fast Parallel Solutions • FOGALE, Gammadata Scienta AB • GIST • Greenfield Technology • HAZEMEYER SA • HYTEM • INFRANOR • Invensys Power Systems SAS • IRELEC • ISP System • Jobin Yvon SAS • Lecroy SARL, Leybold France • MATEC • MDTVISION • MECA-CONCEPT • MECASTER • Mediane Système • Meunier SA • MICRO CONTROLE • MKS Instruments • National Instruments France • NTC • ORDINAL • PMB • Rittal • Saphymo • Schroff • SDMS • SEF • SEFELEC • SERICAD • SESO • Siemens SAS • Sigmaphi • SMP • SOMINEX • Thales Communications • Telindus France • Thermo Electron • VAT • Winlight System...

#### **A l'étranger**

• ACCEL Instruments Gmbh (Allemagne) • ATLAS Technologies (USA) • BBEF (Chine) • BESTEC Gmbh (Allemagne) • CINEL (Italie) • CRYOGENIC Technical Services Inc (USA) • DANFYSIK (Danemark) • Inova Gmbh (Allemagne) • I-TECH (Slovénie) • MEWASA AG (Suisse) • NEC HPCE Gmbh (Allemagne) • Nortemecanica SA (Espagne) • Oxford DANFYSIK (GB) • RIAL Vacuum S.P.A. (Italie) • RMP (Italie) • SAES Getters S.P.A. (Italie) • Tesla Engineering Ltd (GB) • VARIAN (Italie)...

#### **Et aussi des laboratoires et des centres de recherche**

• CEA • CERN (Suisse) • ELETTRA Sincrotrone (Italie) • ESRF (Grenoble) • Institut de Physique Nucléaire Budker (Russie)

