

III. Etat d'avancement du programme expérimental

1. Présentation Générale

SOLEIL a pour caractéristique de couvrir avec ses aimants de courbure et ses dispositifs d'insertion une gamme de longueurs d'onde qui s'étend sur sept décades, de l'infrarouge aux X durs. D'autres centres étrangers - pour des raisons techniques ou par choix délibéré - offrent une gamme plus restreinte, comme DIAMOND à Oxford qui se focalise sur les X durs ou BESSY à Berlin et MAX en Suède qui sont centrés sur les X mous. SOLEIL sera donc un centre polyvalent capable de servir une communauté nombreuse, large et pluridisciplinaire.

Cette exigence a dominé la conception de l'anneau et des onduleurs qui ont été optimisés en 3 grandes familles en fonction du domaine de longueurs d'onde du rayonnement émis (cf. chapitre sur les accélérateurs et les sources de lumière, ch. II). Dans les grandes longueurs d'onde, le choix de l'énergie intermédiaire (2,75 GeV) limite la charge thermique sur les optiques; à l'autre extrémité du spectre, les onduleurs sous vide et un wiggler supraconducteur constituent des sources brillantes jusqu'aux rayons X conventionnels et durs. Ce choix de couvrir un large domaine spectral ne s'est accompagné d'aucun compromis, et toutes les caractéristiques d'un synchrotron de troisième génération - brillance, durée de vie, stabilité des faisceaux - sont de premier ordre.

Le budget disponible prévoit la réalisation de 24 lignes de lumière. 22 opérations (les deux lignes en infrarouge étant décomptées comme une seule opération du fait de leur coût de construction et d'exploitation, et en excluant la ligne de tests et métrologie financée pour près des deux tiers hors de ce budget), ont déjà été approuvées par le Conseil Scientifique, puis décidées par le Conseil d'Administration de SOLEIL. Leurs implantations et leur répartition entre lignes de phase 1 (ouverture en 2006) et de phase 2 (ouverture en 2007 et 2008) sont données au paragraphe 4. Leurs descriptions détaillées sous la forme des fiches validées par le Conseil d'administration sont données au paragraphe 5. Elles montrent que le potentiel des sources sera effectivement pleinement utilisé pour couvrir de manière aussi équilibrée que possible la diversité des besoins et des savoir-faire des utilisateurs. La première ligne de SOLEIL, LUCIA, est déjà opérationnelle au SLS à Villigen (Suisse). Cette opération LURE/CNRS/SOLEIL, qui a été un banc d'essai en vraie grandeur pour tous les corps de métier et leur coordination, a déjà produit des résultats remarquables (cf. paragraphe 3). Elle sera implantée à SOLEIL en janvier 2008.

Nous envisageons une ou deux opérations supplémentaires parmi trois en préparation, qui concernent la microscopie et la micro - analyse dans le domaine des X mous et des X conventionnels et la micro - diffraction en X durs.

D'autres projets sont à divers stades de préparation ; leur réalisation dépend de la mise en place d'un support financier partiel externe à SOLEIL. C'est le cas pour la ligne de calibration pour l'astrophysique spatiale proposée par un consortium autour de l'IAS-CNRS (Orsay) et le DAPNIA-CEA (Saclay), et dont le financement est escompté notamment du CNES et des agences spatiales européennes. Deux autres projets concernent des lignes à vocation fortement industrielle, décrites dans le chapitre sur les applications : ligne LEMAX de diffraction/diffusion X pour les besoins appliqués dans les industries alimentaires et la pharmacie (avec la Faculté de Pharmacie de l'Université Paris-Sud et des partenariats industriels en progrès), et ligne pour le LIGA (CNRS/THALES/SOLEIL).

Chaque ligne de lumière constitue un projet distinct ponctué d'étapes qui s'échelonnent sur trois ans : mobilisation de la communauté, rédaction d'un avant-projet scientifique et technique, discussion et recommandations du Conseil Scientifique, décision du Conseil d'Administration, puis rédaction d'un projet détaillé, constitution d'une équipe (généralement un responsable de ligne,

deux scientifiques et un assistant-ingénieur), conception de la ligne et des dispositifs expérimentaux avec la participation des groupes internes à la division « Expériences » (Optique, Détecteurs et Instrumentation-Planning) et des groupes de support externes à la Division « Expériences », rédaction des cahiers de charges, lancement des appels d'offre et des marchés, essais et réception des composants, construction des « cabanes » de protection et de contrôle, phases d'alignement, mise au point et tests aboutissant à l'ouverture aux utilisateurs expérimentés puis à l'ensemble des utilisateurs. Dans ce processus, la qualité de la collaboration entre les Divisions « Expériences » et « Sources » est primordiale pour réaliser un continuum d'excellence allant de la source de rayonnement à la ligne de lumière, avec la définition des têtes de lignes et des moniteurs de faisceau et surtout celle d'éléments d'insertion optimisés pour les objectifs scientifiques. Les collaborations sont aussi essentielles entre les équipes de ligne et les groupes de support de la Division « Expériences » d'une part et celles des autres Divisions, « Informatique et Electronique » pour le contrôle-commande et « Services Techniques » en charge de l'ingénierie mécanique, du vide, de l'alignement et des infrastructures. Cette conscience collective va être particulièrement précieuse pour aborder la phase difficile d'installation en parallèle des 11 lignes de lumière de phase I. Du fait des limitations de personnel et des retards pris par le bâtiment, la coordination de ces opérations sera particulièrement difficile, d'autant qu'elles interféreront avec l'installation puis le commissioning de l'anneau en posant des problèmes complexes de planification, de partage et de renforcement temporaire des ressources.

Le groupe Optique de la Division « Expériences » (7 personnes) a effectué un travail remarquable sur toutes les lignes. Des solutions innovantes ont été proposées pour les réseaux et les miroirs afin d'atteindre des performances de très haut niveau en terme de résolution, efficacité, focalisation et stabilité. Citons notamment les réseaux à espacement et profondeur de gravure variables qui permettent d'optimiser continûment les performances en fonction de la longueur d'onde et de minimiser les harmoniques. Un effort particulier est aussi entrepris pour les optiques de focalisation afin d'obtenir des foyers homogènes de dimensions minimales. Le groupe Détecteurs est maintenant complet. Il intervient avec efficacité pour les choix de matériel standard sur les lignes et conseille les chercheurs en réponse à leurs besoins spécifiques. Du fait de son effectif limité (5 personnes), il ne peut poursuivre qu'un petit nombre de projets de recherche en interne (dont des détecteurs à gaz à haut taux de comptage) ; il est maintenant impliqué dans une collaboration SOLEIL-CNRS (via le Centre de Physique des Particules de Marseille et le laboratoire de Cristallographie de Grenoble) pour la mise au point de détecteurs de rayonnement X à pixels hybrides très prometteurs pour la diffraction et la diffusion X du fait notamment de leur grande dynamique.

La construction des lignes de phase I progresse rapidement. Les optiques sont commandées et certaines en cours de réception. Les dispositifs expérimentaux sont également commandés avec des livraisons échelonnées entre aujourd'hui et le printemps 2006. Les infrastructures (cabanes de radioprotection et de contrôle, fluides, système de sécurité anti-radiation) sont en phase de réalisation ou d'étude finale. Le contrôle-commande des optiques des lignes et des stations expérimentales est une composante essentielle des lignes de lumière. Sa réalisation complète, selon les standards du laboratoire, est une tâche lourde et évolutive. Une collaboration avec les groupes informatique et électronique a été définie pour aboutir cependant dans les délais requis à la mise en place du minimum permettant le démarrage des lignes. Avec le calendrier actuel, les premiers photons arriveront sur les optiques des lignes de lumière à partir d'avril - mai 2006. L'ouverture aux premiers utilisateurs est prévue après 6 mois de commissioning, à partir de l'automne 2006. Pour ce qui concerne les lignes de début de phase II (2007), les revues d'avant-projet détaillés ont eu lieu et les premiers appels d'offre ont été lancés, en particulier pour la ligne MARS.

Comme détaillé plus loin, le personnel de la Division augmente rapidement depuis mi-2004. Des procédures rigoureuses de sélection ont été mises en place qui assurent la publicité des postes ouverts, l'examen des dossiers et les interviews par des commissions de recrutement constituées ad hoc avec une forte participation d'experts externes au laboratoire (et, pour les postes de chercheurs, de membres du Conseil Scientifique). Ces recrutements représentent une somme de travail considérable, compte tenu des effectifs concernés.

L'accueil des utilisateurs se prépare activement, avec la mise en place d'une Cellule Utilisateurs ; la définition des modalités de gestion des projets et des utilisateurs est bien avancée pour l'essentiel et leur concrétisation au plan des outils informatiques en cours.

Le développement des collaborations entre SOLEIL et les diverses communautés scientifiques est la clef du futur succès scientifique du centre et de son adaptation aux besoins nouveaux. Une politique volontariste d'ouverture a donc été impulsée afin d'éviter que le statut particulier de SOLEIL conduise à un isolement du laboratoire et qu'au contraire, SOLEIL soit bien au service des communautés utilisatrices. Un certain nombre d'initiatives ont été prises en ce sens, sans attendre l'ouverture aux utilisateurs. Ainsi, de nombreux workshops scientifiques ont été organisés ou soutenus pour permettre l'expression des besoins et leur bonne prise en compte ; la liste en est donnée en annexe. De même des comités de lignes sont mis en place pour aider à leur conception, puis en suivre la réalisation et ultérieurement permettre leur évolution. Une association des utilisateurs de SOLEIL sera créée lors du premier colloque d'utilisateurs prévu les 17 et 18 janvier 2006, colloque organisé par un comité provisoire préfigurant cette association. Une initiative essentielle pour développer les liens avec la communauté, mais aussi pour renforcer le personnel scientifique de SOLEIL, est l'association de chercheurs extérieurs qui contribuent à temps partiel à l'exploitation d'une ligne de lumière ou au développement d'une technique dont ils sont spécialistes. Ces chercheurs associés seront considérés comme des chercheurs de SOLEIL à temps partiel, avec les mêmes droits et devoirs, en proportion de leur implication. En sens inverse, SOLEIL est favorable à ce que ses chercheurs propres aient des liens spécifiques avec un laboratoire extérieur. Ce statut de chercheur associé à SOLEIL, et inversement l'association de personnels de SOLEIL à des laboratoires externes, généralise un système qui a été très fécond à LURE. Des protocoles de collaboration en ce sens ont été signés avec divers laboratoires et consortiums. Des conventions fournissant un cadre à ces partenariats et permettant notamment l'affectation scientifique d'enseignants chercheurs et la pleine intégration de SOLEIL dans le système doctoral, ont été signées ou sont sur le point de l'être avec plusieurs universités d'Ile de France (Paris Sud, Paris 6, Versailles, Paris 7) et de Province (Orléans, Strasbourg, Nancy, Reims, Montpellier II). SOLEIL intervient fortement dans plusieurs grands projets en Ile de France, dont celui d'un Institut qui serait un partenaire essentiel pour les activités biologie - santé. La Division « Expériences » a donc été très active, en menant de front ses missions de construction et de prospective, et, pour beaucoup de ses membres, en continuant une activité de recherche de haut niveau utilisant souvent d'autres laboratoires de rayonnement synchrotron tels que l'ESRF, Bessy, Hasylab, Elettra, le SLS, Maxlab et l'ALS, comme en témoigne la liste des publications jointe à ce rapport.

2. Les champs scientifiques

La structure de présentation adoptée dans cette partie, par domaine scientifique, entraîne nécessairement que chaque ligne de lumière apparaisse généralement plusieurs fois. La synthèse ligne par ligne apparaît dans la partie 5, qui regroupe les fiches de synthèse telles qu'elles ont été validées par le Conseil d'Administration de SOLEIL.

Physique

Physique atomique et moléculaire

Dans ce domaine d'investigation, l'intérêt de d'utilisation du rayonnement synchrotron est de pouvoir réaliser des expériences à un seul photon, où l'ensemble des nombreux paramètres contrôlant le système et son évolution sont déterminés de manière très précise. C'est ainsi que l'on peut aborder tant la description de la réaction chimique élémentaire que le difficile problème de la

description des différents types de corrélations électroniques par exemple. L'apport primordial de SOLEIL sera de fournir des faisceaux incidents à la fois très bien définis en énergie et avec un flux suffisant pour analyser les particules émises à très haute résolution tant spectralement qu'angulairement. SOLEIL continuera la spécificité développée à LURE dans ce domaine visant à décrire la dynamique temporelle d'évolutions des systèmes soit en temps réel, soit indirectement par spectroscopie à très haute résolution.

Ce domaine, historiquement bien implanté en région parisienne, sera développé sur les lignes **PLEIADES** et **DESIRS**. Les revues d'APS de ces lignes ont permis de faire le point sur les aspects techniques mais également sur les thématiques abordées soit en interne à SOLEIL, soit par les laboratoires périphériques de la région (Fédération LUMAT [LIXAM, Lab. Photo-Physique Moléculaire, Lab. Collisions Atomiques et Moléculaires, Institut d'Optique Théorique et Appliquée, Lab. A. Cotton], Lab. Chimie Physique d'Orsay, DRECAM/CEA, Lab. Chimie Physique Matière Rayonnement Paris...). De nombreuses discussions ont permis de structurer les communautés, d'anticiper les développements à réaliser dans le futur proche (réunions de travail, workshops) et de préparer de futures associations

Ces deux lignes optimisées dans des domaines d'énergie complémentaires (5-40 eV avec DESIRS, 35-1000 eV avec PLEIADES) permettront de fournir des faisceaux de photons inégalés en terme de résolution, avec une polarisation complètement accordable, et ce grâce à un travail coordonné entre les différents groupes de SOLEIL impliqués (groupe optique, division « Sources »). Les espèces étudiées vont de l'atome isolé (l'hélium, prototype du système coulombien à trois corps est toujours un cas d'école d'actualité !), aux molécules simples, mais aussi aux biomolécules et aux agrégats, et aux ions positifs ou négatifs. Le développement de spectromètres modernes à haute transmission (combinant l'utilisation du champ magnétique et de la structure temporelle du rayonnement) permettra de développer de nombreux type d'expériences en coïncidence pour obtenir les corrélations vectorielles des fragments émis, et donc de déterminer nombre de grandeurs quantiques dans le référentiel de la molécule. Les études physico-chimiques qui seront conduites à SOLEIL, prendront avantage de l'accordabilité en longueur d'onde aisée inhérente au RS ainsi que de son haut taux de récurrence, en complémentarité avec celles basées sur des lasers. Signalons également l'effort d'ouverture qui sera développé à SOLEIL vers des domaines connexes comme l'astrophysique (cf. § ci-dessous dédié aux sciences de l'Univers) ou bien la biologie avec par exemple les recherches concernant l'origine exogène de la vie (exobiologie) ou bien le rôle des radiations dans la dégradation des tissus biologiques (radiobiologie).

Un effort particulier a été fait pour acquérir ou concevoir des spectromètres d'analyse à très haute résolution afin d'utiliser au mieux la haute brillance de ces lignes. Ainsi, dans le domaine des X-mous, il sera possible d'accéder au régime « Auger Raman » révélant des effets dynamiques à l'échelle de la femtoseconde. Enfin, mentionnons l'effort fait pour étudier des espèces « exotiques » comme les radicaux, les espèces excitées par laser, les ions positifs ou négatifs : cette panoplie d'états de la matière permet de tester dans le détail les effets de corrélations et d'étudier des milieux hors équilibre tels les plasmas ou les flammes de combustion par exemple.

Physique de la matière condensée

En rayonnement synchrotron, la physique expérimentale de la matière condensée fait appel principalement à trois grandes classes de moyens d'étude: la cristallographie, les spectroscopies et enfin les microscopies et autres techniques d'imagerie et de microanalyse. En les combinant et en les épaulant le cas échéant par des outils d'élaboration in-situ, SOLEIL sera un des pôles qui dotera la communauté de méthodes d'analyse originales et performantes. La brillance de SOLEIL permettra d'atteindre les résolutions spatiales et spectrales ultimes pour caractériser des matériaux très divers, nano systèmes ou systèmes complexes élaborés en vue de propriétés spécifiques.

Structure et dynamique

La *diffraction des rayons X* est l'une des méthodes les plus efficaces pour obtenir des informations sur la structure atomique de la matière. Cinq lignes de lumière de SOLEIL permettront de couvrir une grande part des questions posées en sciences des matériaux.

Avec la haute brillance de l'onduleur à mini gap dont elle disposera, la ligne **CRISTAL**, permettra d'aborder des problèmes complexes de diverses natures: détermination de structures de phases incommensurables et de quasi-cristaux, caractérisation de matériaux hors d'équilibre, de transitions de phases, mesures de densités électroniques dans l'état fondamental ou excité, etc. Les trois instruments prévus, diffractomètre de poudres, diffractomètre 4-cercles pour les mesures de densités électroniques précises et diffractomètre N - cercles pour une exploration complète de l'espace réciproque, offriront un potentiel expérimental exceptionnel. Un effort particulier sera fait sur la mise en évidence de transitions ultrarapides dans le domaine de quelques dizaines de picosecondes (largeur temporelle des pulses), voire de la picoseconde ou moins si les possibilités de production de pulses ultra courts en cours d'étude débouchent. Une large communauté scientifique est à l'initiative de cette ligne de lumière et accompagnera sa mise en oeuvre sur SOLEIL dans un souci de complémentarité avec le potentiel offert par l'ESRF. Les applications industrielles représenteront également une part significative de l'activité de la ligne.

La diffraction et la diffusion en incidence rasante seront les techniques centrales de deux autres lignes dont la vocation est l'étude des surfaces, interfaces et nano structures : **SIXS** dans le domaine des X durs, **SIRIUS** pour les X tendres. Ces lignes pourront accueillir des échantillons dans des environnements très variés, cellules électrochimiques, cuves de Langmuir ou chambres catalytiques pour l'étude d'interfaces liquide - liquide, liquide - solide ou solide - gaz ; la ligne SIXS sera équipée d'un instrument pour les études in situ, en environnement ultravide, de nano objets, surfaces solides, interfaces et de leurs mécanismes de croissance. L'analyse détaillée de la structure, l'ordre, la dynamique de surfaces nano structurées sera un thème fort, un des objectifs de ces études étant le contrôle de la croissance de nano objets avec une bonne périodicité.

Un diffractomètre pour les études de matériaux en **Conditions Extrêmes** sera installé sur la ligne wiggler supraconducteur, seule source à SOLEIL qui délivrera des photons d'X durs jusqu'à 70 keV, énergie nécessaire pour traverser les presses ou enclumes diamant qui conditionnent l'échantillon à des pressions allant jusqu'au megabar avec chauffage par faisceau laser. Elle permettra de travailler en diffraction en mode monochromatique mais aussi en mode dispersif. Cette ligne a une vocation largement pluridisciplinaire, s'adressant à des physiciens, des chimistes, des biocristallographes et évidemment aux chercheurs des sciences de la terre (cf. paragraphe sur les sciences de l'univers). Afin d'en optimiser l'utilisation, l'IMPMC (CNRS et Paris 6) et le réseau CNRS de laboratoires « Hautes Pressions » se proposent d'installer auprès de SOLEIL un laboratoire de support bien équipé. Cette ligne sera probablement la seule ligne de SOLEIL donnant accès aux X très durs; une branche sera donc aussi dédiée à la tomographie par absorption X ou contraste de phase qui a besoin d'X durs pour traverser des échantillons épais. Cette technique est en plein essor du fait des résolutions sub-micrométriques obtenues en rayonnement synchrotron et sera utilisée à SOLEIL pour la science et l'ingénierie des matériaux, mais aussi pour la matière molle et pour des applications biomédicales.

Transférée de LURE et profondément revue, disponible dès le démarrage de SOLEIL, la ligne **DIFFABS** tirera son originalité du couplage des techniques de diffraction et absorption X qui seront réalisées au même moment, sur la même zone de l'échantillon donc dans des conditions physicochimiques totalement identiques. De plus, le fait de disposer d'un monochromateur optimisé pour la spectroscopie d'absorption X et d'un diffractomètre multi - cercles supportant des environnements échantillons variés sera également mis à profit pour effectuer des mesures de DAFS, technique où l'on mesure les intensités de pics de Bragg en fonction de l'énergie des photons. Cette nouvelle méthode, dont les équipes françaises sont les leaders, combine la sensibilité à l'ordre à grande distance de la diffraction à la sélectivité de site de l'absorption. Elle est donc particulièrement bien adaptée à l'étude de systèmes complexes massifs comme les nouveaux oxydes, ou des nano systèmes. L'option de micro focalisation avec deux miroirs en géométrie de Kirkpatrick-Baez, permettra aussi de concentrer environ 10^{10} photons dans $10 \times 10 \mu\text{m}^2$, ouvrant la voie aux études de systèmes non homogènes et à l'imagerie en diffraction et absorption X.

La *Spectroscopie d'Absorption*, sonde de l'environnement local autour d'un élément donné dans un matériau, est la technique d'excellence de caractérisation structurale des systèmes dilués et/ou peu ordonnés, des agrégats, nano systèmes, films minces. Les lignes **SAMBA** (X durs, 4 à 40 keV) et **LUCIA** (X tendres, 0.8 à 8 keV) seront équipées pour accueillir des échantillons très variés, y compris sous ultravide, et de détecteurs très sensibles. SAMBA développe un monochromateur à balayage rapide pour suivre des évolutions de systèmes à l'échelle de la dizaine de ms et se dote de techniques de caractérisations complémentaires par spectroscopies Raman et UV- visible. LUCIA, première ligne de SOLEIL déjà opérationnelle sur un onduleur de SLS, couple spectroscopie et imagerie à l'échelle de quelques microns.

Les hétérogénéités de la matière aux échelles s'étendant du nanomètre au micron, sont à l'origine de la *diffusion X aux petits angles*, développée sur la ligne **SWING**. Dans les échantillons nano structurés, on obtient ainsi une information précise sur la taille, la morphologie, l'organisation des différents objets, leur distribution en taille et leurs éventuelles interactions. Dans ce domaine, l'utilisation de la diffusion en incidence rasante (GISAXS) s'impose, ce qui implique l'utilisation de la brillance d'un onduleur. La composition chimique de nano précipités peut aussi être déduite de mesures de contrastes anomaux au voisinage des seuils, par exemple dans des alliages métalliques.

Structure électronique

La *photoémission* permet la mesure directe et précise de la structure électronique des matériaux. L'apport du rayonnement synchrotron a été essentiel dans le développement de la technique, l'accordabilité du rayonnement combinée à l'analyse angulaire permettant la détermination complète de la structure de bande, l'utilisation de la polarisation linéaire donnant la symétrie des états électroniques.

Trois lignes de SOLEIL seront dédiées à ces mesures. **CASSIOPEE** et **ANTARES** mettent l'accent sur la haute résolution en énergie pour la caractérisation fine des états électroniques voisins du niveau de Fermi, ceux qui sont responsables de la majorité des propriétés des matériaux, la conductivité, la réactivité, le magnétisme. Des matériaux composés, nano systèmes, films minces, surfaces pourront être étudiés en environnement ultra vide et à basse température, avec des faisceaux focalisés pouvant atteindre la dizaine de microns. La résolution énergétique ultime sera du domaine du meV, les phénomènes résonnants, très puissants pour l'étude des systèmes à électrons corrélés, seront accessibles dans toute la gamme UV - X mous, de 10 eV à 1000 eV. Sur CASSIOPEE, une branche est dédiée aux mesures résolues en spin, atout majeur dans le domaine de l'électronique de spin pour caractériser les films, surfaces et interfaces magnétiques, ou les composés semi magnétiques dilués. ANTARES met l'accent sur la cartographie de la surface de Fermi dans tous les états de polarisation pour l'étude des solides 1D ou 2D, des propriétés de transport ou des systèmes à ondes de densité de charge. La très haute résolution à basse énergie (10 eV) permettra, dans les nouveaux oxydes, d'accéder aux singularités de la fonction spectrale au voisinage de l'énergie de Fermi, aux effets isotopiques et éventuellement aux corrélations antiferromagnétiques.

TEMPO est, elle, dédiée à la spectroscopie électronique résolue en temps, pour le magnétisme et la réactivité des surfaces. Deux aspects sont envisagés : à l'échelle de la milliseconde, la cinétique d'évolution de surfaces, films minces ou systèmes adsorbés pourra être suivie par photoémission rapide ; aux échelles plus rapides, de par sa structure pulsée dans la gamme du MHz, et sa durée d'impulsion de quelques dizaines de picosecondes, le rayonnement de SOLEIL est un outil idéal pour sonder la dynamique de relaxation d'états excités ou le basculement entre états d'équilibre d'un système. Des mesures pompe - sonde couplant excitation (laser ou impulsion de champ magnétique) et rayonnement synchrotron sont prévues.

La *diffusion inélastique X résonnante* donne une information analogue à la photoémission, en ajoutant la sélectivité chimique de l'excitation du trou de cœur. C'est aussi une technique photon in - photon out qui a l'avantage d'être beaucoup moins sensible à la surface de l'échantillon: elle permet donc de déterminer la structure électronique de systèmes complexes, à multi-composants, ou celle d'échantillons dont l'état de surface n'est pas suffisamment bien défini. D'un point de vue expérimental, la détection des photons de fluorescence est plus complexe que celle des électrons, les transmissions et résolutions énergétiques disponibles sont encore limitées. Les derniers

développements de spectromètres installés sur des onduleurs brillants commencent à donner des résultats prometteurs. A SOLEIL, les lignes **MICROFOCUS** dans le domaine des X mous et **GALAXIES** pour les X durs permettront de sonder les excitations électroniques et leurs dispersions. Ce sont des lignes de phase 2 pour lesquelles les spectromètres sont déjà en développement et permettront, dans les systèmes à électrons faiblement corrélés, de mesurer la dispersion des bandes, et dans les systèmes fortement corrélés, de sonder sélectivement les excitations électroniques et éventuellement de préciser des transitions de seuil masquées dans les profils d'absorption X. Sur GALAXIES, un spectromètre de photoémission adapté à la mesure de photoémission haute énergie (jusqu'à 12 keV) complètera les lignes de photoémission UV - X mous pour l'étude de l'état massif du matériau. En mode résonnant dans le domaine X, la photoémission et la diffusion inélastique sont en effet à la fois voisines et complémentaires.

Magnétisme

En science des matériaux, le magnétisme est un domaine où la communauté scientifique française est très dynamique, avec des thèmes forts tels que le développement de nano systèmes pour l'électronique de spin, les systèmes de basse dimensionnalité (magnétisme des surfaces, films minces, nano structures, particules super - paramagnétiques, molécules à haut spin) ou l'étude de l'émergence du magnétisme dans des composés exotiques (aimants moléculaires, matériaux géologiques ou biologiques). SOLEIL s'inscrit dans cette dynamique et met à la disposition de la communauté française des techniques combinant plusieurs atouts uniques: la haute sensibilité, la sélectivité chimique permettant d'étudier les divers composants d'un système complexe et la sélectivité orbitale permettant de sonder diverses couches électroniques, la résolution spatiale à l'échelle submicronique et la résolution temporelle pour suivre des dynamiques d'aimantation sur des échelles de temps pouvant aller de quelques dizaines de picosecondes à la seconde.

La ligne de lumière **DEIMOS**, dans le domaine des X mous, équipée d'onduleurs délivrant tous les états de polarisation de la lumière, est dédiée exclusivement aux mesures de dichroïsme circulaire et linéaire. Elle permettra aussi bien l'étude de couches minces et de nano structures magnétiques que celle d'échantillons soumis à de forts champs magnétiques (jusqu'à 7T) sur une large gamme de températures (de 50 mK à 1000K). Le dichroïsme circulaire permet une mesure directe de l'anisotropie magnéto-cristalline de chacun des composants d'un échantillon complexe par la mesure de toutes les composantes du moment magnétique orbital. Il est alors possible de comprendre le rôle des différents paramètres sur l'anisotropie magnéto-cristalline tels que les contraintes d'interfaces, les liaisons coupées (en surface ou en bord d'îlot) ou les effets d'alliages d'interface et d'optimiser ainsi l'élaboration de nouveaux objets. Les mesures de dichroïsme en X durs seront réalisables dès le démarrage de SOLEIL sur la ligne **ODE** d'absorption X en mode dispersif transférée de LURE. C'est sur cette ligne, qui permet des mesures sous haute pression, qu'ont été étudiés les mécanismes impliqués dans la transition de phase magnéto-volumique dans un alliage INVAR.

Des techniques expérimentales voisines, basées non plus sur l'absorption X mais sur la réflectivité, utilisent de la même façon la sensibilité magnétique des rayons X polarisés. Ainsi, la diffusion magnétique X résonnante, développée sur les lignes **MICROFOCUS** en X mous, **SIRIUS** en X tendres et **SIXS** en X durs, permet d'affiner la caractérisation magnétique de multicouches et de nano structures magnétiques complexes en donnant accès à l'état magnétique de chaque plan atomique au voisinage des interfaces. Cette approche est fondamentale pour la compréhension des phénomènes de couplage d'échange entre couches et de polarisation magnétique. Un dispositif de mesure de diffusion diffuse magnétique résonnante, pour la détermination de corrélations magnétiques entre nano objets, pourra également être installé à temps partiel sur ces trois lignes.

Une branche dédiée de la ligne **MICROFOCUS** sera équipée d'un microscope à photoélectrons (**PEEM** pour PhotoEmission Electron Microscope) pour l'imagerie de domaines magnétiques. On combine ainsi la sélectivité chimique et magnétique de l'absorption X en lumière polarisée, la sensibilité de la technique de photoémission aux couches superficielles de l'échantillon et l'imagerie avec une résolution nanométrique (20 nm). Ce PEEM est en cours d'installation sur une ligne de lumière d'ELETTRA à Trieste, pour ouverture aux utilisateurs en janvier 2006 et sera ré-implanté sur la ligne Microfocus à partir de mi-2007. A l'avenir, à SOLEIL, il peut être envisagé d'enregistrer des images en des temps suffisamment courts pour accéder à des évolutions lentes

de cartes de domaines magnétiques (échelle de la seconde), ou des évolutions plus rapides (échelle de la nanoseconde) par des mesures en mode stroboscopique sur des échantillons présentant des configurations de domaines réversibles et reproductibles.

Pour mesurer la dynamique de retournement de l'aimantation à l'échelle de quelques dizaines de picosecondes dans des films minces ou des nano structures, SOLEIL propose à ses futurs utilisateurs la ligne **TEMPO**. Les équipes françaises, travaillant au LURE, ont acquis une position de pionniers dans ce domaine par la réalisation d'expériences pompe - sonde avec une excitation magnétique synchrone et une mesure retardée de l'état magnétique de l'échantillon réalisée à travers la polarisation de spin des électrons secondaires photo émis.

La structure magnétique des nano systèmes, couches minces ou multicouches est intimement liée à leur état cristallin. Les méthodes de caractérisation structurale, diffraction et absorption X, disponibles sur CRISTAL, SIXS, SIRIUS SAMBA et LUCIA y donneront accès avec une excellente sensibilité aux anisotropies induites par les interfaces. La détermination de la structure magnétique de systèmes complexes comme les films nano gravés, auto organisés par croissance sous contrainte ou des systèmes de nano particules magnétiques incluses dans des matrices, implique celle de leur structure mésoscopiques en diffusion X et particulièrement en diffusion centrale sur la ligne **SWING** qui permettra de caractériser la taille des nano objets et leur organisation.

Une étape incontournable pour la compréhension des propriétés magnétiques des nouveaux matériaux est aussi la connaissance de leur structure électronique: d'où l'utilisation de CASSIOPEE et d'ANTARES, les lignes de photoémission haute résolution avec analyse angulaire. Une branche de CASSIOPEE, optimisée pour sa brillance, sera équipée d'un détecteur de Mott pour l'analyse de spin des photoélectrons.

Chimie

Le potentiel d'expériences mis en place sur les lignes de lumière de SOLEIL ouvre des perspectives nouvelles pour l'ensemble des thématiques relevant du secteur Chimie, qu'il s'agisse du suivi in situ de la synthèse de matériaux par des techniques variées depuis les méthodes sol-gel de la chimie douce jusqu'aux synthèses sous très haute pression et/ou très hautes températures, ou encore des études cinétiques de réactivité chimique en phase gaz ou en catalyse hétérogène, par exemple. Un volet très important concerne les études des propriétés électroniques et magnétiques des nouveaux matériaux et molécules. Près d'une vingtaine des lignes présentées au paragraphe 5 pourront être utilisées à des degrés divers par la communauté des chimistes sachant que de nombreux thèmes se situent aux interfaces chimie/physique et chimie/biologie.

Citons, parmi les lignes de phase 1, ouvertes aux premiers utilisateurs à l'automne 2006, la ligne de spectroscopie d'absorption X dans le domaine des X durs, **SAMBA**, qui par le couplage in situ avec des spectroscopies optiques (Raman, UV-Visible) ou avec la calorimétrie différentielle permettra d'aborder de façon complète les processus réactionnels; grâce à la grande brillance de SOLEIL, des cinétiques de l'ordre de la dizaine de milliseconde seront accessibles dans le mode Quick EXAFS. Une seconde ligne de spectroscopie d'absorption utilisant le mode dispersif, **ODE**, réduira les temps d'acquisition à la milliseconde et sera particulièrement adaptée aux études in situ de réactions catalytiques. Une troisième ligne, **DIFFABS**, couplant absorption et diffraction sur un même échantillon, est fortement centrée sur la chimie en conditions de très hautes températures, notamment dans le cadre d'une collaboration avec le CRMHT d'Orléans. La gamme de température accessible (jusqu'à 3000° C) ouvrira le champ d'investigation des synthèses à très haute température et des transitions de phase solide/solide et solide/liquide dans des matériaux aussi bien isolants que métalliques. Si l'information sur l'ordre local est donnée par les spectroscopies d'absorption, les techniques de diffusion et diffraction renseignent sur les corrélations à plus longue portée. La ligne **CRISTAL** permettra des études de densité électronique à très haute résolution sur des poudres et monocristaux donnant accès aux caractéristiques ultimes des liaisons chimiques ; la ligne **SWING** de diffusion aux petits et grands angles révélera les modulations de densité électronique sur des échelles caractéristiques allant de quelques Angströms au micron aussi bien dans des alliages métalliques que dans des gels ou polymères soumis à des contraintes physico-chimiques.

La réactivité de systèmes bidimensionnels aux interfaces solide/gaz, solide/liquide ou liquide/liquide pourra être suivie in situ sur le plan des transformations structurales sur les lignes de phase 2 **SIXS** et **SIRIUS**, ouvertes aux utilisateurs courant 2008 ; toutefois, des expériences d'électrochimie seront déjà accessibles sur **DIFFABS** dès fin 2006.

L'étude in situ des transformations physico-chimiques dans des échantillons radioactifs solides ou liquides sera possible sur la ligne **MARS** ouverte mi-2007 avec les techniques de diffraction de poudre et spectroscopie d'absorption en modes balayage et dispersif.

Le domaine de la géochimie, qui sera important à SOLEIL, est traité au chapitre des Sciences de l'Univers.

L'approche de la réactivité chimique aux interfaces par l'étude des modifications de structure électronique (bande de valence, déplacement de niveaux de cœur, NEXAFS) sera accessible sur plusieurs lignes de spectroscopie de photoélectrons: la ligne **TEMPO**, de phase 1 aura une branche dédiée à une chambre de réaction éventuellement adaptée aux mesures sous pression de quelques mbar, les lignes **CASSIOPEE** (phase1) et **ANTARES** (phase 2) permettront par leur très haute résolution énergétique des analyses plus fines des changements dans la bande de valence tandis que la ligne **GALAXIES** (phase 2) de diffusion inélastique à haute énergie permettra de sonder l'évolution des premiers états vides et d'étudier des systèmes en conditions extrêmes (fluides supercritiques, par exemple). L'imagerie des propriétés électroniques avec une résolution spatiale de l'ordre de la dizaine de nanomètres sera l'exclusivité du microscope par photoémission **X-PEEM**; cette technique est particulièrement performante pour mettre en évidence les hétérogénéités des processus réactionnels en surface, au cœur de l'action catalytique. Enfin les études couplées des propriétés électroniques et magnétiques, particulièrement riches en chimie de coordination, seront accessibles dans le domaine des X mous sur DEIMOS et dans celui des X durs sur ODE par les techniques de dichroïsme.

Pour les systèmes étudiés en phase gaz, les lignes **DESIRS** (UV-VUV) de phase 1 et **PLEIADES** (VUV - X mous) de phase 2 offriront un ensemble de haute sélectivité pour l'étude de processus réactionnels photo excités avec des techniques de coïncidences ou encore de pompe - sonde mettant à profit la structure temporelle du faisceau (impulsions de 30 ps espacées de 148 ns). Dans cette gamme d'énergie, les processus de photo ionisation de grosses molécules pourront être étudiés par spectrométrie de masse sur une des branches de la ligne **DISCO** (5-20 eV).

Enfin, le domaine des propriétés vibrationnelles et ro-vibrationnelles sera couvert par les deux lignes d'infrarouge **AILES** et **SMIS** avec l'option très haute résolution sur AILES d'importance pour la chimie de l'atmosphère.

La communauté des chimistes, future utilisatrice de ces lignes, a une longue tradition de collaboration avec les industriels du domaine; comme mentionné dans le paragraphe sur les applications industrielles, SOLEIL dans ses comités de programme aura des experts capables d'évaluer les projets à finalité d'applications et par ailleurs mettra au service d'utilisateurs industriels une structure d'accueil optimisée.

Les liens avec la communauté sont restés forts depuis la conception des avant-projets sommaires soumis au conseil scientifique jusqu'au choix définitif des composants des lignes dont le montage commencera à partir de septembre 2005. Des consultations fréquentes ont eu lieu dans le cadre des comités de lignes, de groupes de travail spécifiques par thématiques ou d'ateliers dont les programmes et comptes-rendus peuvent être consultés sur le site de SOLEIL. Citons tout particulièrement l'atelier « Chimie à Soleil : de l'infrarouge aux X durs » organisé à Orsay le 12 mai 2005 par le département de Chimie du CNRS et Soleil qui a donné un coup d'accélérateur à la mise en place de programmes d'accompagnement tels que le réseau CaRayS pour la catalyse. Dans ce dernier domaine, un article publié par la revue Oil and Gas [cf. Baudalet et al. 2005] permet d'apprécier le potentiel mis en place à SOLEIL.

Sciences de l'Univers

Un effort d'ouverture vers les Sciences de l'Univers est conduit par SOLEIL dans plusieurs directions.

Pour ce qui concerne par exemple l'astrophysique, SOLEIL est particulièrement bien placé avec l'utilisation des deux lignes de spectroscopie en VUV et X mou pour la phase gazeuse, DESIRS et PLEIADES, et celle de la ligne de spectroscopie en Infra Rouge AILES. La prise en compte des besoins de spectroscopie à très haute résolution sera satisfaite d'une part avec la mise en œuvre d'une transformée de Fourier à très haute résolution ($<.001 \text{ cm}^{-1}$) dans l'IR (convention mise en place avec le laboratoire LPPM d'Orsay) sur la ligne **AILES**, mais également avec le développement original d'une transformée de Fourier dans le VUV sans séparatrice (en collaboration avec l'OTA/ Laboratoire C. Fabry) sur la ligne **DESIRS**. Basée sur la séparation de front d'onde par miroir, elle a déjà pu être testée dans l'UV. En contact étroit avec les communautés utilisatrices (comités de ligne, workshop « Haute résolution - Phase diluée » Orsay Mars 2005), les équipements seront développés en particulier pour étudier des espèces très diluées, ou à haute et basse température. L'ensemble de ces données spectroscopiques constitue un point clef pour l'interprétation des données satellitaires. Le champ d'étude concerne également la composition des atmosphères terrestre et non terrestres. La planétologie, sous ses aspects de réactivité chimique, sera abordée par le biais de collaborations prolongeant celles mises en place au LURE, entre autre avec le LCP d'Orsay (montage CERISES). Un effort particulier sur la ligne DESIRS a été porté sur le design d'un onduleur basse énergie (HU 640) permettant de produire tout type de polarisation, avec un basculement de l'état de polarisation à 10Hz (cf. chapitre sur les sources), afin de mesurer avec grande précision de faibles signaux dichroïques. Des études ayant trait à l'exobiologie seront aussi conduites sur cette ligne, visant à mettre en évidence des effets énantio-sélectifs induits par photo ionisation, photo fragmentation et synthèse asymétrique à partir de lumière polarisée.

La géochimie est un domaine qui utilise de plus en plus diverses techniques du rayonnement synchrotron et où les équipes françaises sont particulièrement actives. Elle se développera à SOLEIL autour de plusieurs des lignes d'absorption X et de diffraction sur poudres ou sur monocristal. Les géosciences ont été et restent un des moteurs dans le développement de l'utilisation des hautes pressions en diffraction et absorption X. De ce point de vue, SOLEIL sera bien adapté à leurs besoins avec les deux lignes **Conditions Extrêmes** et **ODE**. La ligne **Conditions Extrêmes** décrite au paragraphe sur la physique de la matière condensée, permettra à partir de mi-2008 des expériences de diffraction en mode dispersif et monochromatique dans la gamme des rayons X très durs (jusqu'à 70 keV). Plusieurs laboratoires du secteur SDU du CNRS développent un projet d'installation d'une presse multi enclumes, en complément des cellules diamant, pour créer des conditions de pression hydrostatique dans des volumes de l'ordre du mm^3 ouvrant ainsi la possibilité de mesures physico-chimiques in situ simultanément aux mesures de diffraction. Ce serait une spécificité de SOLEIL utilisant efficacement ses faisceaux X durs. La ligne d'absorption X en mode dispersif **ODE** est aussi particulièrement adaptée aux mesures en haute pression du fait de son faisceau focalisé et de l'absence de déplacement du faisceau X. D'une manière générale, la spectroscopie d'absorption X est une méthode de choix pour les géosciences car les géo-matériaux sont souvent mal cristallisés ou vitreux, et ont des compositions chimiques complexes. Outre ODE, l'ensemble des lignes d'absorption X sera donc utilisé à SOLEIL, SAMBA, DIFFABS, mais surtout LUCIA. La ligne **LUCIA**, déjà opérationnelle sur la source suisse SLS (voir § XX) donne en effet accès aux seuils d'éléments légers qui sont les constituants majeurs de la croûte terrestre (silicium, calcium, magnésium, aluminium, ...). En outre le microfaisceau disponible permettra l'étude en absorption ou fluorescence d'hétéogénéités ou d'inclusions dans les roches à l'échelle de quelques microns. Les géosciences comme les sciences de l'environnement ont évidemment besoin de micro spectroscopie et d'imagerie : leurs promoteurs à SOLEIL sont donc moteurs dans les projets de nouvelles lignes en cours de maturation;

Sciences de la Vie et Santé

Dans tous les centres de rayonnement synchrotron de 3^{ème} génération, les applications en sciences de la vie tiennent une place croissante. SOLEIL s'inscrit dans cette évolution avec une composante en biologie et à ses interfaces avec la chimie et la physique qui se développe sur une dizaine de lignes de lumière. Trois de ces lignes seront utilisées à temps plein, les deux lignes de diffraction X PROXIMA 1&2 et la ligne DISCO dans le Visible et l'UV, et les autres à temps partiel, pour au total l'équivalent de 5 lignes temps plein, soit plus de 20% du potentiel du laboratoire.

Jusqu'à présent, l'application essentielle - et dans certains centres, restée quasi-exclusive - du rayonnement synchrotron en sciences de la vie a été la biocristallographie. On assiste aujourd'hui à une extension des recherches vers des édifices de plus en plus gros et de plus en plus proches du réel et de l'état physiologique. C'est avec cette optique que nous avons incité à SOLEIL le développement équilibré d'outils pour la biologie structurale allant de l'échelle atomique, avec la biocristallographie et la spectroscopie d'absorption X, à la détermination de l'enveloppe de l'édifice par la diffusion centrale des X, et en développant aussi des méthodes à basse résolution (dichroïsme circulaire en UV et spectrométrie de masse) pour les systèmes qui ne cristallisent pas, ou mal, comme les protéines membranaires. Au-delà de la macromolécule, nous souhaitons aussi développer l'imagerie de systèmes beaucoup plus complexes dans une gamme spatiale qui va de l'organelle à la cellule, la fibre, jusqu'au fragment de tissu ou de tégument d'un organisme vivant. L'intérêt du rayonnement synchrotron pour de telles imageries réside dans la sélectivité de la fonction chimique permettant d'imager une molécule particulière.

L'investissement principal en matériel et en personnel porte, sans surprise, sur la *biocristallographie*. Deux lignes dédiées sont en construction, **PROXIMA I** et **II**, qui sont respectivement de phase I et de début de phase II et dont les sources sont des onduleurs sous vide U20. Ces lignes sont conçues pour l'utilisation en routine de la diffusion anormale pour la solution du problème de la phase, avec enregistrements à une (SAD) ou plusieurs longueurs d'onde (MAD). Leurs conceptions sont voisines, et ont été guidées par la recherche d'une très grande stabilité (mécanique et faisceau) et de l'aptitude aux mesures précises. Ainsi, les fonctions de monochromatisation et de focalisation (par une paire de miroirs courbés de type Kirkpatrick-Baez) de l'optique sont séparées. PROXIMA I est bien adaptée aux grandes mailles cristallines. PROXIMA II permettra l'étude de cristaux de taille pouvant descendre à moins de 10 microns. Toutes deux seront équipées de robots pour la manipulation des cristaux congelés et dotées d'un haut degré d'automatisation et d'intelligence artificielle. L'objectif à terme est de réaliser un véritable système expert réalisant l'intégration de toutes les étapes depuis la collecte des données de diffraction jusqu'à la construction du modèle moléculaire. Nous sommes pour cela partie prenante dans plusieurs projets collaboratifs européens (DNA, BIOXHIT). Ces lignes seront parfaitement adaptées au «haut débit» requis pour la protéomique structurale ou l'étude systématique de complexes protéine-inhibiteur. En prévision de besoins ultérieurs (en recherche fondamentale ou pour les applications industrielles), la section droite de PROXIMA II pourra recevoir un second onduleur décalé pour le montage éventuel d'une troisième ligne, PROXIMA III. La *biocristallographie sous haute pression hydrostatique* est une spécificité initiée à LURE et poursuivie à SOLEIL ; les mesures s'effectuent actuellement dans le cadre d'un Long Term Project sur ID27 à l'ESRF. Elles se poursuivront sur la ligne **Conditions Extrêmes** de SOLEIL prévue en fin de phase II.

La *spectroscopie d'absorption X* permettra l'étude de la structure locale (domaine EXAFS) et de l'état physico chimique (spectres XANES) des sites actifs de métalloprotéines ou de petites molécules d'intérêt biomédical. Un de ses intérêts est de permettre l'étude d'échantillons sous forme de solution, de poudre ou de monocristal; les enregistrements seront effectués sur les lignes de phase I **SAMBA**, **LUCIA** et **PROXIMA I** dont les caractéristiques sont complémentaires (domaine d'énergie, type et dimensions d'échantillon, micro imagerie).

La ligne **SWING** sera elle aussi utilisée à temps partiel pour des études à basse résolution de macromolécules en solution par diffusion aux petits angles et d'échantillons non-cristallins par diffraction X aux grands angles ou en incidence **rasante**.

La ligne Visible/Ultra-Violet **DISCO** de phase II sur aimant de courbure est une ligne sans équivalent dans les centres de rayonnement synchrotron. Elle comportera trois branches dont une pour l'imagerie confocale et deux pour la biologie structurale à basse résolution avec les montages suivants :

- un montage de *dichroïsme circulaire* qui sera un outil de grand intérêt notamment pour étudier les structures secondaires de protéines, car il étendra significativement le domaine spectral accessible aux appareils de laboratoire ;
- un montage de *spectrométrie de masse équipé pour les systèmes hydrophobes* (notamment protéines membranaires) avec ionisation sélective par le rayonnement synchrotron.

L'imagerie avec résolution chimique est un axe que SOLEIL souhaite développer tout particulièrement pour les sciences du vivant en utilisant sa spécificité de couvrir tout le domaine spectral de l'infrarouge au rayonnement X. Ainsi la biologie sera l'une des finalités importantes du village *infrarouge* (IR), qui comprend la microscopie et la micro spectroscopie IR (à P et T variables) sur la ligne **SMIS** et la spectroscopie dans l'IR lointain sur **AILES** (ses caractéristiques sont décrites au paragraphe sur la physique atomique et moléculaire). La technique de spectro-microscopie IR développée sur SMIS permettra d'atteindre la résolution ultime donnée par la limite de diffraction du fait de la brillance accrue par deux ordres de grandeur et du faible bruit en comparaison des appareillages de laboratoire. Elle est naturellement bien adaptée aux applications en biologie cellulaire et tissulaire puisqu'elle permet de cartographier à l'échelle de quelques micromètres les constituants chimiques des matériaux biologiques ou les molécules exogènes introduites, en sélectionnant leurs bandes roto-vibratoires spécifiques. Elle devrait aussi être très utile en médecine en ouvrant des perspectives d'histologie chimiquement résolue et en pharmacie (pénétration de molécules dans la cellule ou les tissus). La *microscopie confocale* en UV, une originalité de SOLEIL développée sur la ligne DISCO, servira les mêmes thématiques en utilisant les sélectivités spectrale et temporelle des fluorescences induites. Le plus offert par SOLEIL par rapport aux installations de laboratoire, outre le gain en brillance, est la sélectivité d'excitation en longueur d'onde. Enfin, nous avons lancé un Avant Projet Sommaire de Microscopie en X mous dont les applications en biologie cellulaire constituent l'une des finalités importantes. Ce projet pourrait se concrétiser par l'une des dernières lignes de lumière.

Un laboratoire *intra muros* de biologie moléculaire et de biochimie d'une centaine de m² servira de support aux utilisateurs extérieurs venant faire leurs expériences et sera utilisé bien entendu pour la recherche interne.

Les méthodes biophysiques mises en œuvre à SOLEIL intéressent les médecins, les pharmaciens et les chercheurs et ingénieurs des secteurs des biotechnologies, des cosmétiques, de l'agroalimentaire ou de l'agrochimie. Ces aspects sociétaux et industriels sont développés par le GRIGES, en collaboration avec la Division Expériences.

SOLEIL sera aussi de ce fait l'un des outils du pôle de compétitivité Méditech-Santé en Ile de France. Ceci concerne d'une part la pharmacologie, avec la conception de nouveaux médicaments faisant appel au design moléculaire guidé par la connaissance de la structure 3D des protéines-cibles et de leurs complexes, ainsi que des travaux sur la vectorisation de médicaments ; et d'autre part les programme de recherche sur le cancer, où les méthodes spectroscopiques et d'imagerie cellulaire (par VUV, IR et éventuellement microscopie en rayons X) seraient utilisées à des fins de caractérisation et de diagnostic.

Enfin, SOLEIL a joué un rôle actif dans la maturation du projet dont le nom provisoire est l'Institut de Biologie Structurale et d'Imagerie Moléculaire et Cellulaire. Cet Institut, adossé à SOLEIL mais autonome et développant sa propre ligne de recherches, serait un partenaire majeur en sciences de la vie pour les collaborations scientifiques, l'utilisation optimale des lignes de lumière et l'appui aux équipes d'utilisateurs. Ce projet est initié par l'Université Paris-Sud et le PRES Paris-Sud. Le Département des Sciences de la Vie du CNRS a proposé de contribuer au financement de l'APS.

Environnement et patrimoine

L'évolution de la science, la haute brillance et la grande stabilité des faisceaux de SOLEIL ainsi que les progrès considérables des optiques X encouragent le développement des méthodes de micro-analyse et de micro-imagerie à SOLEIL. Ces possibilités sont particulièrement intéressantes pour les travaux sur l'environnement (polluants dans les sols et les poussières) et le patrimoine, domaines de recherche pluridisciplinaires, à fort impact sociétal et qui sont actuellement, de manière générale, en développement. Les techniques de *fluorescence X* et de *XANES* avec une résolution spatiale ajustable pouvant atteindre 1 micron sont déjà abordées sur **LUCIA**, ligne opérationnelle au SLS en Suisse (cf. § 3). La *diffraction et micro-diffraction sur poudre ou monocristal* seront disponibles notamment sur **CRISTAL** et **DIFFABS**. Environnement et patrimoine sont également très concernés par les projets de *microscopie X* dont les APS sont en cours et qui sont postulantes pour les dernières lignes du programme actuel de SOLEIL.

3. Début d'Exploitation de LUCIA à SLS

Equipe Française : Anne-Marie Flank (DR), responsable de ligne
Pierre Lagarde (DR),
Delphine Vantelon (Scientifique-Soleil)
Stéphane Bac (IR)

Equipe Suisse : Markus Janousch (Scientifique SLS)
R. Wetter (AI)

Après avoir qualifié les propriétés de l'onduleur (fig.1) et amélioré le réglage des optiques focalisantes qui délivrent maintenant un faisceau de $5 \times 6 \mu\text{m}^2$, les premières données ont été prises avec succès sur LUCIA dès juillet 2004 et la ligne accueille des utilisateurs extérieurs depuis janvier 2005 sur propositions sélectionnées par le comité de programme de SLS.

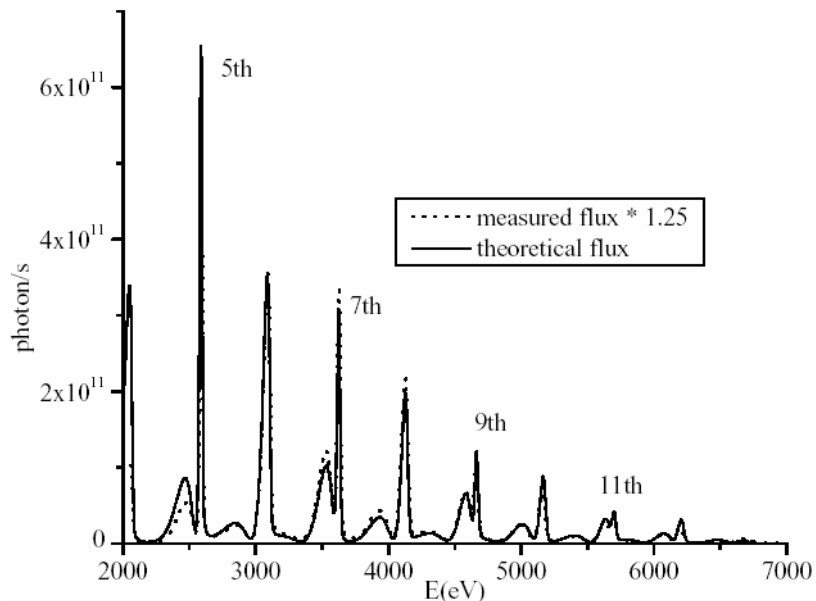


Fig. 1 : Spectre de l'onduleur HU56, conforme aux valeurs calculées. Un travail efficace est possible sur des harmoniques très élevées (23-25 au delà de 7 keV)

Pour la première session, 28 projets ont été déposés (18 F, 9 CH, 1 I) dont 20 ont été acceptés avec la répartition suivante :

11 projets français -154 sessions de 8 h,
8 projets suisses -114 sessions,
1 projet italien -9 sessions.

Pour la deuxième session correspondant à des 'runs' attribués à partir de juin 2005, 23 projets ont été déposés (12,5 F, 5,5 CH, 2E, 1 D, 1 I, 1 H) dont 17 ont été acceptés avec la répartition suivante :

10,5 projets français - 117 sessions,
4,5 projets suisses - 99 sessions,
1 projet espagnol -12 sessions,
1 projet hongrois - 12 sessions.

Quelques résultats scientifiques

L'activité scientifique qui s'est déjà déroulée ou qui est programmée pour la deuxième partie de 2005, recouvre des domaines très variés depuis les problèmes environnementaux (transport des polluants dans les sols, stockage des déchets, ...), les matériaux du patrimoine, les matériaux divisés (ciments, complexes chimiques), les verres d'intérêt industriel, géologique ou artistique, jusqu'à la science des matériaux en conditions extrêmes. Quelques exemples sont illustrés par les figures suivantes :

Hautes Pressions : J. P. Itié et al.

Le seuil K du phosphore (2,15 keV) a été étudié sous haute pression (jusqu'à 12 GPa), ce qui est une première. Pour permettre ces mesures, alors que le rayonnement X-tendre est fortement absorbé par le diamant, les enclumes (fig. 2) ont été percées pour ne laisser qu'une épaisseur totale inférieure à 1mm sur le trajet du faisceau. Ces expériences ouvrent un champ d'investigation important pour les géosciences.

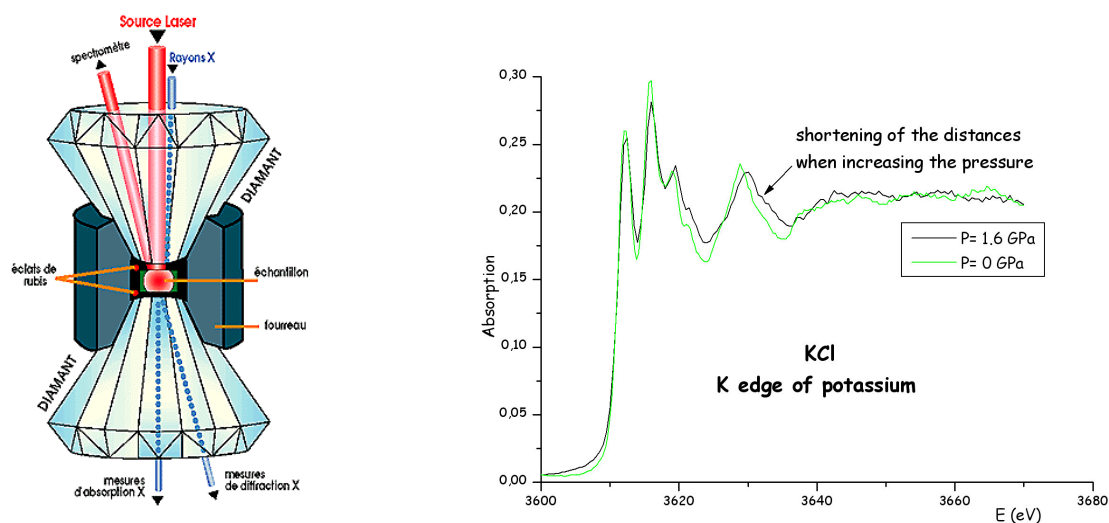


Fig. 2 : Cellule à enclumes diamant, EXAFS au seuil K du potassium dans le chlorure de potassium montrant la contraction des liaisons interatomiques sous pression

Matériaux du Patrimoine : F. Farges et al.

La stratégie de rénovation des vitraux altérés dépend de l'identification précise de la forme chimique des produits de corrosion. Dans le cas de la cathédrale de Tours, une forme cristalline proche de la birnessite a été identifiée comme produit d'altération du manganèse. Cette identification permettra de mettre en œuvre un réactif spécifique qui décaperait la couche cristalline altérée sans dommage pour la phase amorphe du vitrail sain.

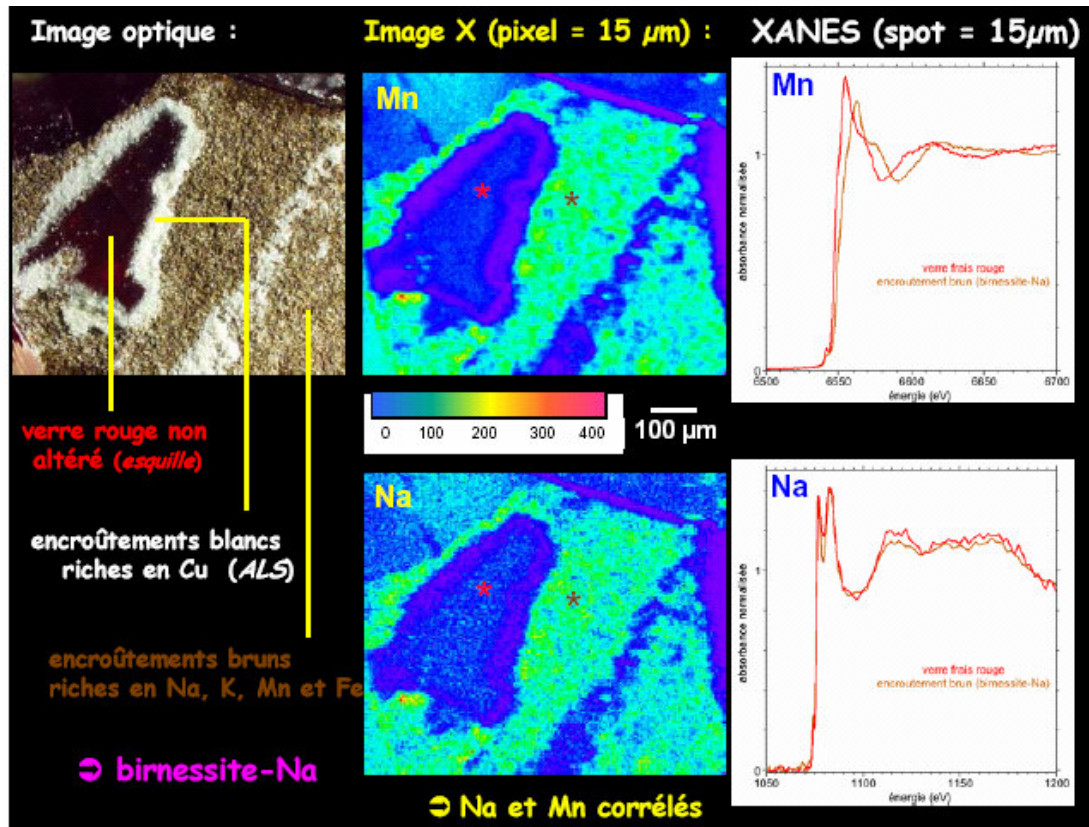


Fig.3 : Mise en évidence de l'association Na-Mn et de la différence d'environnement local du manganèse dans le verre rouge altéré (courbe bleue) et non altéré (courbe rouge)

Environnement : Immobilisation des métaux lourds dans les ciments (Vespa, Scheidegger et Grolimund)

Les premières cartographies montrant les corrélations de distribution des ions dans les différentes fractions de ces matériaux très complexes ont été obtenues.

Les premiers résultats et les performances de la ligne ont été présentés par A.M. Flank lors de la conférence EMRS à Strasbourg (23-27 mai 2005).

4. Les lignes de lumière

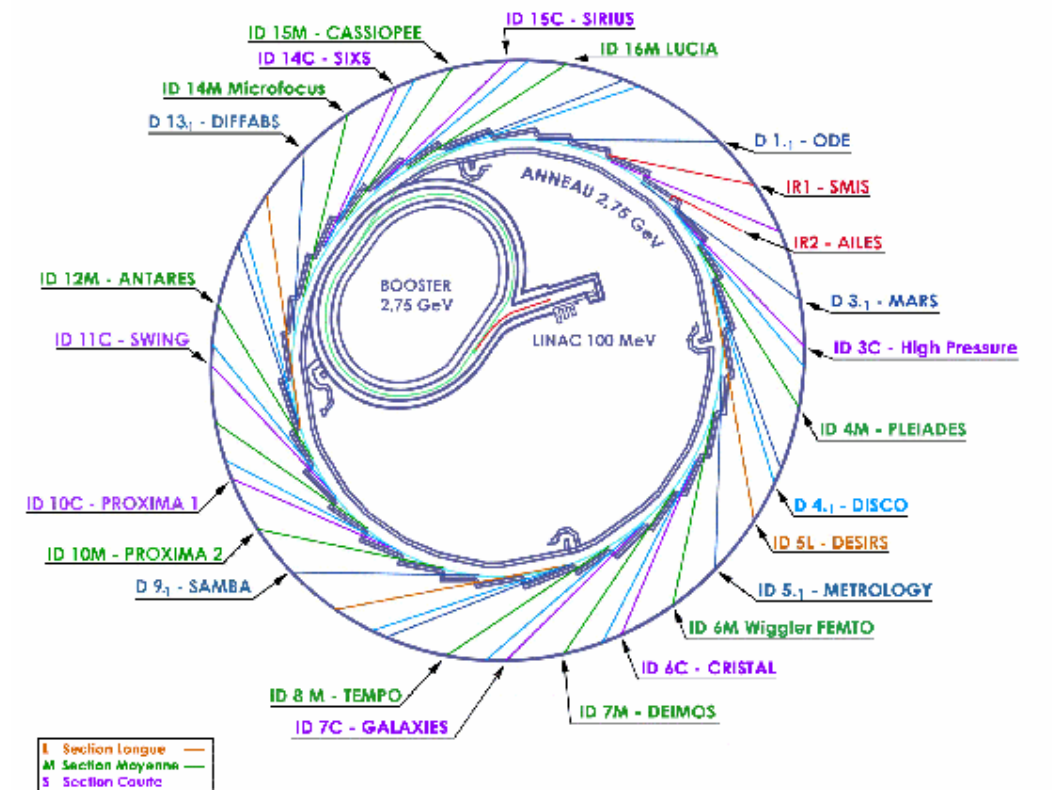


TABLEAU 1- Opérations de phase 1 (l'IR est comptée comme une seule opération)

1 VUV BL (HU 640) DESIRS	(5-40 eV) L. Nahon, G. Garcia	Spectroscopy and photochemistry on diluted matter
2 IR BL Dipole edge + constant field SMIS AILES	P. Dumas P. Roy	Mid IR Microscopy 2.5-50 μm Far IR Spectroscopy 10-200 μm
2 Soft X-ray BL (HU 256 + HU80) CASSIOPEE (HU80 + HU 40) TEMPO	(10-1000 eV) A. Taleb, F. Bertran, P. Lefèvre (60-1500 eV) F. Sirotti, M. Izquierdo (p. doc)	Photoemission of surfaces/interfaces : high resolution, resonant, spin resolution Photoemission: temporal resolution, magnetization dynamics, surface reactivity
3 Hard X-rays BL (3.5-17 keV) PROXIMA1 (4.8-30 keV) CRISTAL (3-17 keV) SWING	(in-vacuum U20) A. Thompson, P. Legrand, E. Girard S. Ravy, E. Elkaïm, P. Fertey J. Perez, O. Lyon	Protein crystallography, coupled PX/XAS Condensed matter diffraction Small angle X-ray scattering: biology, soft matter, materials
3 Hard X-rays BL (3-25 keV) DIFFABS (4-40 keV) SAMBA (3.5-23 keV) ODE	(bending magnet) D. Thiaudière, A. Somogyi V. Briois, E. Fonda, S. Belin F. Baudelet, A. Congeduti	Coupled X-ray absorption and diffraction Scanning energy XAS; QUICK-EXAFS Dispersive X-ray absorption spectroscopy
1 Tender X-rays BL (800-7000 eV) LUCIA	HU54 at SLS A.-M. Flank, P. Lagarde, D. Vantelon	X-ray absorption spectroscopy and imaging for environmental, materials, earth and life sciences

1 Triple BL 10-100eV 30-2000 eV 0.5-12 keV METROLOGY	Bending magnet M. Idir, P. Mercère (post-doc)	In-house needs for optics and detectors metrology In partnership with CEA/DAM and LNE (ex BNM)
--	--	---

LUCIA est déjà opérationnelle au SLS. La ligne de Métrologie est construite en partenariat avec le CEA et le LNE pour les besoins propres de ces deux institutions et de SOLEIL, une fraction du temps restant accessible via le comité de programme.

TABLEAU 2- Opérations de début de phase 2

1 UV- VUV BL (BM) DISCO	(1-20 eV) M. Refregiers, F. Wien, <i>O Laprèvote et al.</i>	CD in biology; mass spectroscopy of hydrophobic systems; confocal imaging (fluorescence, time-resolved fluorescence)
Soft X-rays BL (HU 80 + HU256) PLEIADES	(10-1000 eV) C. Miron	Physical chemistry (inner shells) diluted matter: atoms, ions, molecules, aggregates
Soft X-rays BL (HU 256 + HU60) ANTARES	(10-900 eV) M. C. Asensio, J. Avila	Fermi surface mapping with spin analysis
Soft X-rays BL (HU 80 + HU50) MICROFOCUS	(50-1500 eV) M. Sacchi, R. Belkhou, N. Jaouen	High flux and microfocusing for imaging, inelastic scattering, resonant magnetic scattering XRMS, RIXS, XPEEM (ELETTRA 2003-2006)
Soft X-rays BL (HU50 + autre) DEIMOS	C. Hague (350-2000 eV) P. Ohresser, <i>P. Sainctavit</i>	XMCD and XMLD, with microfocus option
Hard X-rays BL (U20) PROXIMA2	(4-17 keV) W. Shepard	Protein crystallography, tiny crystals
Hard X-rays BL (BM) MARS	(5-30 keV) B. Sitaud	Diffraction and absorption on radioactive samples

TABLEAU 3- opérations de fin de phase 2

Hard X-rays BL, (HU32) SIRIUS	(2-10 keV) P. Fontaine, <i>M. GoldmannJ.-M. Tonnerre et al.</i>	Resonant diffraction on soft interfaces and magnetic materials
Hard X-rays BL, (U20) GALAXIES	(3-12 keV) J.-P. Rueff, <i>A. Shukla et al</i>	High resolution inelastic X-ray scattering, high energy photoemission
Hard X-rays BL, (U20) SixS	(4-20 keV) Y. Garreau, A. Coati, <i>V. H. Etgens et al.</i>	Diffraction on 2D systems (hard and soft condensed matter); 2D magnetic diffraction; catalysis under high pressure
Hard X-rays BL (WS44) Conditions Extrêmes	(10-50 keV) J.-P. Itié, <i>A. Polian et al.</i>	High pressure and high temperature diffraction. High energy diffraction; tomography