



UN NOUVEAU SOLEIL
POUR LA SCIENCE DE DEMAIN



UN UPGRADE DE SOLEIL AU COEUR DES DÉFIS DE DEMAIN...



Les matériaux avancés

Le besoin croissant en performances de calcul et capacités de stockage que requièrent le Big data et l'intelligence artificielle (IA) est extrêmement énergivore : ordinateurs, data centers, réseaux, englobent près de 10 % de la consommation mondiale d'électricité. L'informatique quantique pourrait multiplier la puissance de calcul des ordinateurs tout en étant moins gourmande en énergie d'un facteur 100 à 1000.

Un enjeu essentiel dans de nombreux domaines (aéronautique, transports, sécurité, énergie, communication...) est le développement rapide, intégrant conception et synthèse de matériaux avancés, avec des caractéristiques et fonctionnalités prédéfinies.

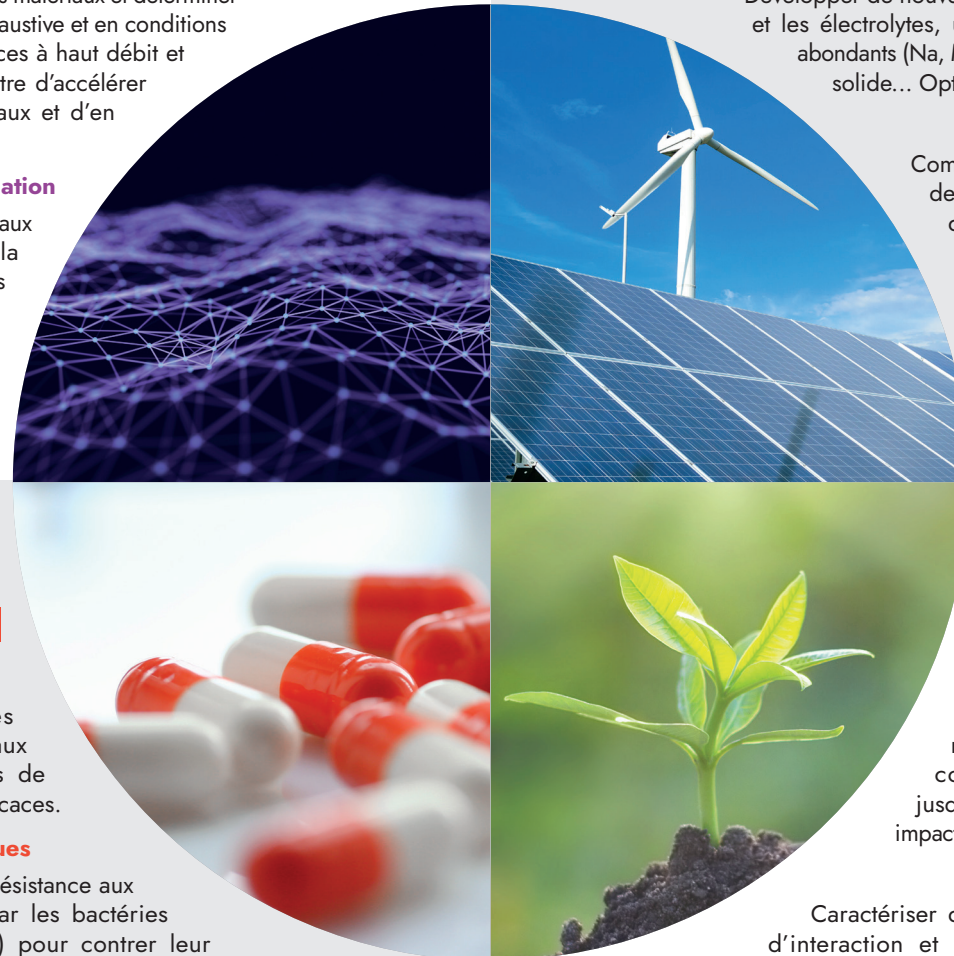
APPORTS DE L'UPGRADE

L'ingénierie des matériaux

Suivre les phases de synthèse des matériaux et déterminer leurs propriétés de manière exhaustive et en conditions d'utilisation. Coupler expériences à haut débit et méthodes d'IA afin de permettre d'accélérer le développement des matériaux et d'en réduire le coût.

Les technologies de l'information

Développer de nouveaux matériaux quantiques, contrôler à la demande les propriétés de ces matériaux, dont la composition est hétérogène jusqu'à l'échelle du nanomètre.



La santé

Plus de cent millions de personnes infectées, plusieurs millions de victimes dans le monde, de nouveaux variants identifiés presque chaque semaine, la pandémie de COVID-19 a pour origine la transmission d'un virus animal à l'humain. Les changements environnementaux générés par l'activité humaine pourraient à l'avenir provoquer d'autres catastrophes sanitaires du même type.

Chaque année, les infections par des bactéries résistantes aux traitements antibiotiques tuent 700.000 personnes dans le monde.

APPORTS DE L'UPGRADE

Les nouveaux pathogènes

Comprendre les modes d'infection de ces nouveaux virus pour réduire le temps de développement de vaccins efficaces.

La résistance aux antibiotiques

Élucider les « stratégies » de résistance aux antibiotiques développées par les bactéries (expulsion des antibiotiques) pour contrer leur adaptation aux traitements.

L'énergie et le développement durable



APPORTS DE L'UPGRADE

Les batteries

Développer de nouveaux matériaux pour les électrodes et les électrolytes, utilisant des éléments chimiques abondants (Na, Mg, Fe), la technologie d'électrolyte solide... Optimiser les procédés de recyclage.

La catalyse/la chimie verte

Comprendre les processus de catalyse, de l'échelle atomique (identification du site actif) jusqu'à l'échelle microscopique (évolution du site actif dans la matrice poreuse).

Ordinateurs, smartphones, tablettes, véhicules électriques : omniprésents au quotidien, ils fonctionnent grâce au stockage d'énergie électrochimique dans des batteries que l'on voudrait plus compactes, plus sûres, se rechargeant plus vite, à durée de vie plus longue, plus durables, plus écologiques...

Dans l'industrie, 90 % des réactions sont catalytiques, et utilisent fréquemment des ressources rares (métaux nobles, terres rares, ...). L'élaboration de nouveaux catalyseurs et l'optimisation des réactions pourraient permettre de réduire en 2050 la consommation mondiale d'énergie de l'équivalent de la consommation énergétique annuelle actuelle de l'Allemagne.



L'environnement

En 2030, 50 millions de tonnes de plastiques pourraient atteindre les écosystèmes aquatiques. Leur altération conduit à la formation de micro- puis nano-particules de plastiques très difficilement détectables.

Plus généralement, le transfert de polluants va croître avec l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes (tempêtes, inondations) liés au réchauffement climatique. Les aérosols d'origine naturelle (volcans, incendies géants) ou humaine (pollution) ont un très fort impact sur le climat.

APPORTS DE L'UPGRADE

Impact des polluants

Comprendre la capacité des nano-plastiques à véhiculer des contaminants, des continents jusqu'aux océans, pour évaluer leur impact toxicologique sur les écosystèmes.

Le réchauffement climatique

Caractériser dans l'atmosphère les processus d'interaction et de transformation des gaz et nanoparticules, naturels ou liés à l'activité humaine, afin d'affiner les modèles et mieux prédire les conséquences du réchauffement climatique.

...GRÂCE À UN SAUT TECHNOLOGIQUE ET UNE COMBINAISON DE DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX UNIQUE AU MONDE



SOURCE DE LUMIÈRE UNIQUE,
DE L'INFRAROUGE AUX X DURS



EXPÉRIENCES JUSQU'À
10 000 FOIS PLUS RAPIDES



EXPÉRIENCES JUSQU'À
1 000 FOIS PLUS SENSIBLES



RÉSOLUTION À L'ÉCHELLE
NANOMÉTRIQUE



ÉTUDE DE DISPOSITIFS EN CONDITIONS
RÉELLES DE FONCTIONNEMENT



DES LIGNES DE LUMIÈRE ET
DES TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

UN PROJET AMBITIEUX ET INNOVANT, POUR RELEVER DES DÉFIS TECHNOLOGIQUES MAJEURS



L'accélérateur le plus performant de sa catégorie au monde

Basé sur un nouvel arrangement des éléments magnétiques, le futur accélérateur d'électrons de haute performance est conçu pour produire des faisceaux de photons de qualité inégalée, indispensables pour répondre aux enjeux scientifiques qui nous attendent.

À la fois le plus compact et le plus performant au monde dans le domaine des énergies intermédiaires (autour de 3 GeV), en termes de taille et de divergence des faisceaux d'électrons produits, ce nouvel accélérateur renforcera la position stratégique de la France dans la production et l'exploitation du rayonnement synchrotron.

Ce projet innovant et ambitieux vise à remplacer l'actuel accélérateur de 354 m de circonférence tout en conservant les infrastructures existantes et la géométrie d'extraction des faisceaux des lignes de lumière, ce qui permettra de minimiser le coût du projet. Le domaine d'énergie des photons produits couvre dix ordres de grandeur, de l'infrarouge lointain aux rayons X durs. Le domaine d'excellence de SOLEIL (rayons X mous et tendres) restera privilégié. Grâce à un faisceau d'électrons 40 fois plus petit et circulaire (figure ci-contre), les faisceaux de photons seront au moins 100 fois plus brillants et cohérents dans le domaine

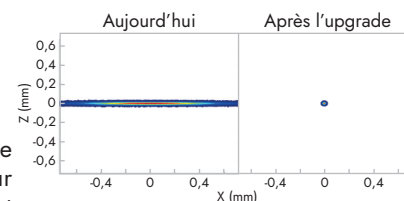


Image du faisceau d'électrons au point source d'une ligne de lumière, avant et après l'upgrade (simulation).

des rayons X. Leurs propriétés ainsi améliorées permettront de réaliser des expériences jusque-là impossibles ou seulement sur des temps de mesure très longs, tout en garantissant une grande stabilité d'intensité, de position et de taille. L'upgrade de l'accélérateur de SOLEIL est rendu possible, d'une part, par la levée de verrous technologiques, avec la miniaturisation extrême des chambres à vide où circulent les électrons et des aimants qui les guident, pour obtenir un agencement très compact. D'autre part, par des innovations majeures, avec notamment un système d'injection des électrons repensé, et de tout nouveaux dispositifs magnétiques compacts permettant de produire et contrôler des faisceaux de photons toujours plus intenses. Ces concepts novateurs font l'objet d'une phase intense de prototypage et ont déjà abouti au dépôt de cinq brevets.

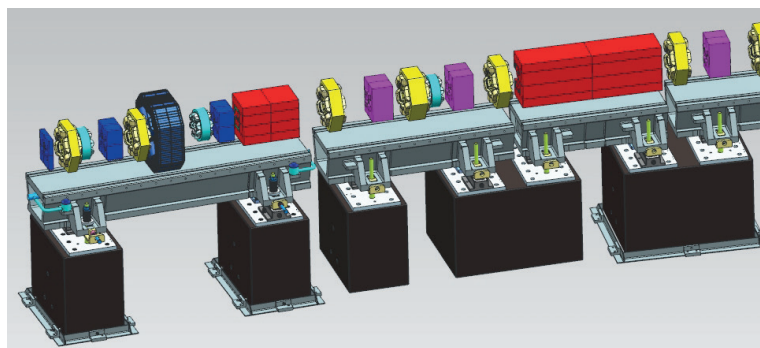


Schéma des éléments magnétiques de la nouvelle maille de l'anneau de stockage.

Des lignes de lumière et stations expérimentales à la pointe de l'innovation

L'ensemble des lignes de lumière bénéficiera des propriétés uniques du nouvel accélérateur : des mesures à l'échelle du nanomètre, étude des phénomènes ultrarapides en temps réel, sensibilité des mesures considérablement améliorée. Ces atouts, combinés à l'éventail unique de techniques accessibles à SOLEIL sur une large gamme d'énergies, seront pour la communauté scientifique française et internationale, des outils incomparables d'exploration de la matière ou du vivant pour répondre aux défis auxquels notre société fait face.

Ces propriétés ouvriront en outre des possibilités expérimentales entièrement nouvelles. En particulier, des techniques jusque-là utilisables uniquement avec la lumière visible pourront être transposées aux rayons X, et accroître considérablement la précision des mesures. Des progrès spectaculaires sont ainsi attendus dans l'étude des propriétés électroniques, magnétiques, chimiques et structurales de matière inerte ou vivante. La possibilité de combiner des techniques sur une large gamme de longueurs d'onde, unique à SOLEIL, sera encore

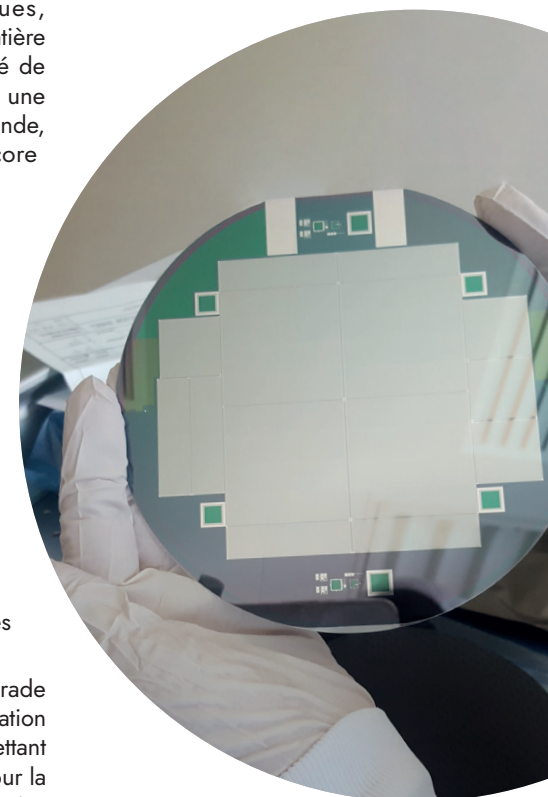
enrichie après l'upgrade.

L'intégration de ces nouvelles méthodes au sein de lignes de lumière innovantes passe par la conception et la réalisation d'optiques, détecteurs, dispositifs de nanositionnement, de nouvelle génération, développés dans le cadre de partenariats, académiques et industriels, nationaux et internationaux.

Les données au cœur du projet grâce à une transformation numérique globale

De nouveaux services numériques exploiteront pleinement le potentiel du nouvel accélérateur et des lignes de lumière. Des techniques de calcul avancées comme l'apprentissage automatique (Machine Learning) interviendront pour contrôler les caractéristiques du faisceau d'électrons. La robotique contribuera à utiliser au mieux le temps d'expérience disponible sur les lignes de lumière, y compris pour des expériences à distance. Afin de gérer le déluge de données issues de l'augmentation des expériences multi-techniques, les infrastructures du système d'information seront modernisées, en appui sur des centres nationaux de calcul et stockage.

Pour les Utilisateurs des lignes de lumière, la valeur ajoutée de l'Upgrade résidera également dans les outils de visualisation et d'analyse, la préservation des données, et les services d'accès et de recherche associés. En permettant le partage et l'ouverture des données, en ligne avec le Plan National pour la Science Ouverte, ces services maximiseront l'impact des expériences réalisées à SOLEIL. Cette transformation sera basée sur une architecture modulaire, pour faciliter l'intégration de nouveaux services ainsi que l'évolution des services existants, et assurer leur adéquation à long terme avec les besoins techniques et scientifiques.



Galette de Silicium développée par SOLEIL comportant plusieurs géométries de modules de pixels hybrides pour les futurs détecteurs.



D'AUTRES DIMENSIONS DE L'UPGRADE DE SOLEIL

Un impact renforcé sur la recherche, l'innovation et la formation

IMPACT SUR LA RECHERCHE ET L'INNOVATION

Plus de 12 000 utilisateurs ont déjà utilisé SOLEIL où ils ont effectué près de 50 000 visites. Ce projet d'upgrade bénéficiera annuellement à 1000 laboratoires et plus de 100 compagnies industrielles, qui pourront profiter d'un outil pluridisciplinaire incomparable. Une analyse bibliométrique montre que les projets menés par ses utilisateurs à SOLEIL ont un impact plus élevé et un caractère innovant plus fort que leurs autres travaux.

SOLEIL a développé des partenariats étroits et fructueux avec de nombreux acteurs majeurs académiques et industriels dans les domaines de l'énergie, de la santé ou de l'environnement qui, en plaçant le projet d'upgrade au cœur de leurs orientations stratégiques, pourront en maximiser l'impact sur leur R&D.

IMPACT ÉCONOMIQUE

Une récente étude d'impact socio-économique montre qu'un million d'euros dépensé par SOLEIL induit, d'une part, un autre million d'euros de valeur ajoutée dans l'économie française et, d'autre part, soutient plus de 12 emplois en France. Au-delà de cet effet, le projet d'upgrade a un très fort potentiel d'innovation avec déjà près d'une dizaine de brevets liés au projet en préparation. Dès maintenant, des entreprises et associations d'entreprises françaises sont impliquées dans notre démarche afin d'acquérir le savoir-faire nécessaire en instrumentation de très haute technologie, et de participer avec succès aux très nombreux projets similaires en Europe et au-delà.

IMPACT SOCIÉTAL ET FORMATION

Un projet aussi innovant que celui proposé offre d'innombrables possibilités de formation sur des technologies de pointe. Elles pourront en particulier être concrétisées via la politique dynamique d'apprentissage de SOLEIL, qui forme entre 20 et 30 alternants par an.

Dans un tout autre domaine, le diagnostic médical, plus de 20 hôpitaux français ont déjà bénéficié des équipements uniques de SOLEIL. Cette collaboration sera révolutionnée par le développement de techniques d'analyse robotisées, à haut-débit et haute résolution.

Écosystème européen

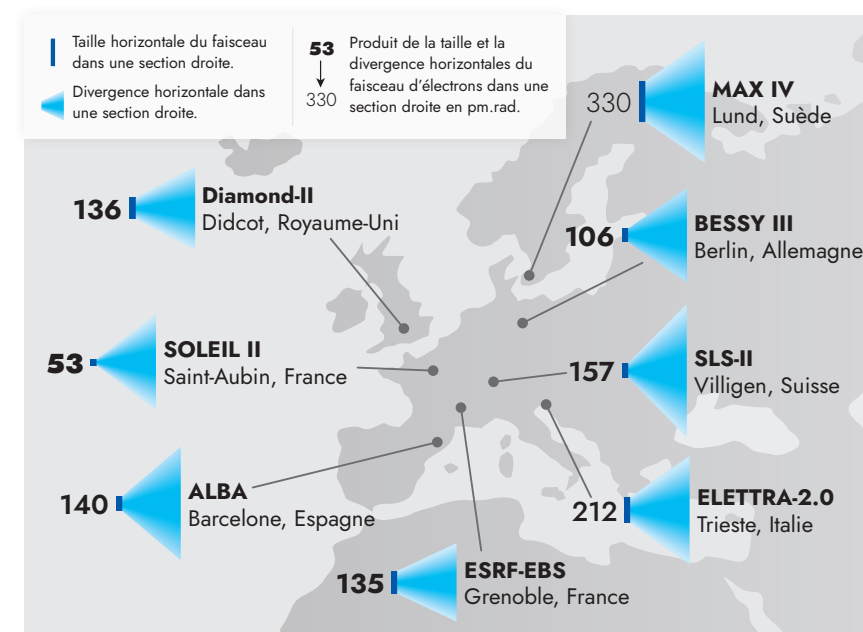
Ce projet se positionne dans un contexte européen très dynamique où tous les synchrotrons s'engagent dans une démarche similaire, initiée par la construction du synchrotron MAX IV en Suède, premier de cette nouvelle génération (carte). Les premiers résultats obtenus à MAX IV et à l'ESRF démontrent de manière spectaculaire le potentiel de ces sources extrêmement brillantes qui deviennent l'élément clé de la compétitivité de ces installations, et rendent indispensables un upgrade de SOLEIL.

Avec ses faisceaux de photons dans la gamme allant de l'infrarouge lointain au rayons X, l'upgrade de SOLEIL restera l'indispensable complément de celui de l'ESRF, à Grenoble, qui fournit des rayons X de plus haute énergie. Laboratoires et industriels français auront ainsi toujours à leur disposition tout l'éventail des techniques permettant de couvrir l'ensemble de leurs besoins. Depuis 2017, l'ensemble des synchrotrons européens est uni au sein d'une communauté, le LEAPS. SOLEIL s'est engagé résolument dans cette démarche, en particulier dans toutes les actions de développement d'instrumentation innovante qui bénéficieront pleinement au projet d'upgrade, accélérant les développements et mutualisant leur coût.

Caterina Biscari,
Présidente du LEAPS (League of European Accelerator-based Photon Sources)

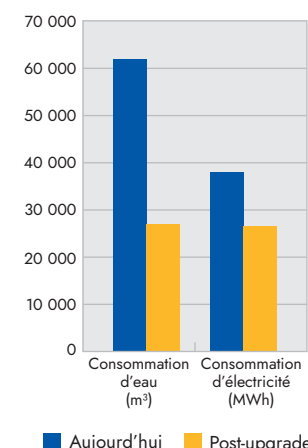
SOLEIL, LE PROJET LE PLUS AMBITIEUX DE SA CATÉGORIE DANS UN ÉCOSYSTÈME EN PLEINE MUTATION

Carte des synchrotrons européens de nouvelle génération.



Une installation plus verte

Évolution de la consommation électrique et en eau.



Le nouvel accélérateur sera construit dans l'objectif d'une utilisation raisonnée des ressources : réduction de plus de 50% de la consommation électrique en diminuant l'utilisation d'électroaimants, de 80% de la consommation d'eau potable grâce à la jouvence des tours de refroidissement et à la généralisation des circuits fermés pour les systèmes utilisant des fluides rares comme l'hélium. La possibilité, à l'étude, d'augmenter les températures de l'eau de refroidissement des équipements, et de régulation de l'air, permettrait également un gain énergétique significatif.

Enfin, les outils de conduite des expériences à distance seront généralisés à l'ensemble des lignes de lumière, ce qui réduira l'empreinte carbone des utilisateurs.

“ Le programme d'upgrade de SOLEIL est exemplaire dans la manière dont des instruments et des modes d'accès renouvelés, servis par une source de photons plus brillante et cohérente, une gamme d'énergie des photons étendue, peuvent fournir à l'ensemble de la communauté scientifique LEAPS des outils d'analyse encore plus précis pour de nombreux problèmes cruciaux et permettre des avancées majeures dans la compréhension fondamentale des propriétés de la matière. ”



L'UPGRADE DE SOLEIL : VERS LE SYNCHROTRON

LE PLUS PERFORMANT AU MONDE DANS SA CATÉGORIE

- > grâce à la jeunesse des accélérateurs et des lignes de lumière en deux étapes de 5 ans.
- > relevant les défis de demain, essentiel pour maintenir la compétitivité de la recherche française en Europe.
- > complémentaire de l'ESRF pour offrir aux laboratoires français un ensemble de techniques synchrotron unique au monde.
- > économe des ressources avec un coût de fonctionnement réduit.
- > au service de la compétitivité des entreprises.



EXPÉRIENCES
JUSQU'À **10 000 FOIS**
PLUS RAPIDES



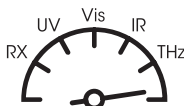
RÉSOLUTION À L'ÉCHELLE
NANOMÉTRIQUE



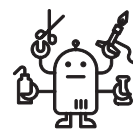
EXPÉRIENCES
JUSQU'À **1 000 FOIS**
PLUS SENSIBLES



ETUDE DE DISPOSITIFS
EN CONDITIONS RÉELLES
DE FONCTIONNEMENT



SOURCE DE LUMIÈRE
UNIQUE, **DE L'INFRAROUGE**
AUX X DURS



DES LIGNES DE LUMIÈRE
ET DES TECHNIQUES
COMPLÉMENTAIRES



Synchrotron SOLEIL

L'Orme des Merisiers - Départementale 128

91190 Saint-Aubin - FRANCE

www.synchrotron-soleil.fr

