



SOLEIL II

LA SCIENCE ÉCLAIRE L'AVENIR



SOLEIL II : L'HÉRITAGE DE PRÈS DE 20 ANNÉES AU SERVICE DE LA SCIENCE



SOLEIL aujourd'hui

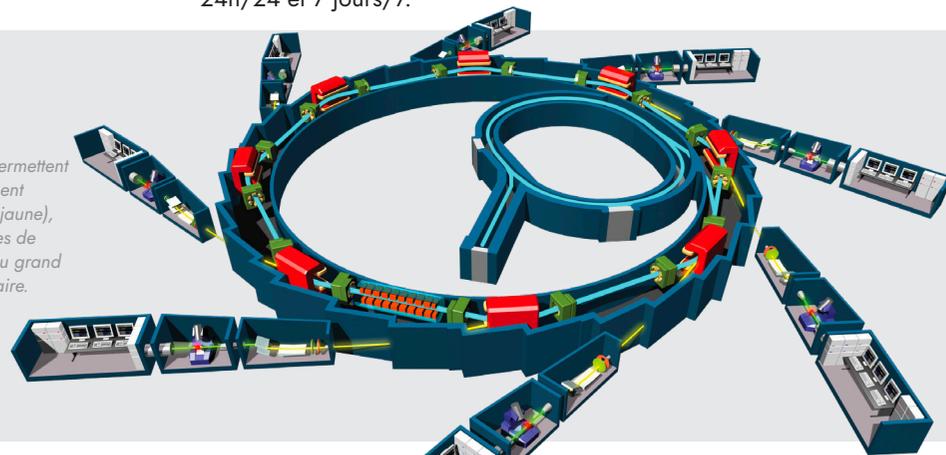
Très Grande Infrastructure de Recherche nationale, et outil au service des scientifiques et de l'industrie, SOLEIL, situé au cœur du cluster Paris-Saclay, est une source de lumière dont les caractéristiques permettent de percer les secrets les plus intimes de la matière, jusqu'à l'échelle de l'atome.

Chaque année, depuis 2008, les équipes de SOLEIL (environ 450 personnes) accueillent et accompagnent dans leur démarche de recherche plus de 5 000 scientifiques, appelés « utilisateurs », venant du monde entier pour bénéficier des installations, et leur garantissent des conditions d'expérimentation optimales.

Ces équipes développent également, en interne ou en partenariat, leurs propres thématiques d'étude sur de nombreux sujets qui mobilisent la communauté scientifique.

SOLEIL est une source de lumière extrêmement intense, appelée le rayonnement synchrotron, produite grâce à un accélérateur de particules. Arrachés à une pastille de métal de la taille d'une pièce de monnaie, des électrons sont progressivement accélérés à une vitesse proche de celle de la lumière, portés à une énergie très élevée en deux phases successives, dans des accélérateurs appelés LINAC et booster, puis injectés dans l'anneau de stockage de 354 mètres de circonférence où ils tournent 24h/24 et 7 jours/7.

Schéma de principe du synchrotron : au centre, les accélérateurs d'électrons permettent la production du rayonnement synchrotron (représenté en jaune), qui est utilisé dans les lignes de lumière disposées autour du grand anneau de stockage circulaire.



Tout au long de leur parcours dans l'anneau, guidés par des champs magnétiques, les électrons perdent une partie de leur énergie sous forme de rayonnement lumineux, ou photons. À chaque virage est émise cette lumière extrêmement brillante, sur une gamme de longueurs d'onde allant des infrarouges jusqu'aux rayons X, et

couvrant le visible et les ultraviolets. Pour produire des faisceaux de lumière encore plus intenses, les électrons traversent également des dispositifs magnétiques spécifiques qui font onduler leur trajectoire.

Autour de l'accélérateur d'électrons sont construits 29 dispositifs expérimentaux complexes, les « lignes de lumière », instrumentés pour préparer et analyser les échantillons à étudier, puis enregistrer les informations recueillies.

Toutes différentes mais complémentaires, les lignes de lumière sont conçues spécifiquement pour des gammes de longueurs d'onde, des techniques d'analyse et des types d'échantillons particuliers, échantillons qui peuvent être des solides (surface, matériaux, cellules ou tissus vivants...), des gels, des liquides ou encore des gaz.

À son entrée dans la ligne, avant d'arriver sur l'objet à étudier, le rayonnement synchrotron traverse différents systèmes optiques qui sélectionnent sa longueur d'onde et le focalisent pour l'expérience. Quand la lumière extrêmement intense atteint l'échantillon, pénétrant la matière qui le compose, celui-ci « répond », en la déviant, en l'absorbant, ou encore en libérant d'autres photons ou des électrons. Enregistrées par des détecteurs eux aussi très spécifiques, ces données sont ensuite décodées par les chercheurs, qui en déduisent la structure et la géométrie –en surface ou volume– ou encore les propriétés –chimiques, électroniques, magnétiques– de l'échantillon. Et cela jusqu'à l'échelle des atomes qui le constituent.

SOLEIL II

Pour toujours mieux servir ses communautés utilisatrices, et en tirant parti des récentes avancées scientifiques et technologiques, SOLEIL entreprend aujourd'hui une jouvence majeure de ses installations pour devenir SOLEIL II. Ce projet ambitieux bénéficiera de l'expérience et du savoir-faire acquis au cours de près de vingt années de fonctionnement. L'esprit pionnier et novateur de nos équipes, déjà à l'œuvre lors de la construction de SOLEIL, en fait la jouvence la plus audacieuse parmi les nombreux projets en cours ou à venir dans l'écosystème international des synchrotrons.

Sobre et raisonné en termes de ressources, SOLEIL II conservera les bâtiments actuels, et proposera des accélérateurs et lignes de lumière profondément rénovés, accroissant ainsi la compétitivité de la source française de rayonnement synchrotron et augmentant sa durée de vie d'au moins 30 ans.

Chiffres clés de SOLEIL aujourd'hui

(fin 2024)

Un fonctionnement

24h/24

7j/7 avec plus de 98% de fiabilité

Plus de 65 000 utilisateurs depuis 2008

Environ 1 200 laboratoires utilisateurs par an

Plus de 9 300 publications depuis 2008

Plus de 120 entreprises utilisatrices, des start-ups aux grands groupes, pour 1 600 expériences industrielles réalisées depuis 2008

30 800 collégiens, lycéens et étudiants ont visité SOLEIL depuis 2010

Plus de 1 500 thèses de doctorat incluent des résultats obtenus à SOLEIL depuis 2008

Près de 300 partenaires nationaux et internationaux dans 46 pays

SOLEIL II AU CŒUR DES DÉFIS DE DEMAIN...



Les matériaux avancés

Le besoin croissant en performances de calcul et capacités de stockage requis par 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 SOLEIL II

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 (milliardième de mètre).



L'énergie et le développement durable



APPORTS DE SOLEIL II

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.

Vers une énergie décarbonée

Concevoir des carburants à partir de ressources durables comme la biomasse, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre ; pour les stocks de carburant existants, développer des procédés de combustion plus propres et efficaces ; optimiser la conversion de l'énergie solaire.

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 de l'Allemagne.



La santé

Les maladies infectieuses émergentes sont dues à des pathogènes (bactéries, virus, champignons, parasites, prions) d'origines très variées. Le traitement de ces maladies, de plus en plus nombreuses et à l'impact démultiplié par l'évolution des écosystèmes liée à l'activité humaine, est un défi majeur.

Les techniques de biologie structurale et cellulaire développées grâce à SOLEIL II permettront d'identifier des cibles pour de nouvelles thérapies et d'apporter une réponse rapide et adaptée à ces maladies (vaccins, antibiotiques).

APPORTS DE SOLEIL II

Le cancer

Contribuer au développement de traitements anticancéreux par une meilleure compréhension des mécanismes de dysfonctionnement des cellules menant au cancer, et des modes d'actions de nouveaux médicaments.

Les nouveaux pathogènes

Réagir rapidement notamment face aux virus émergents (Ebola, H1N1, SARS-CoV-2...) en réduisant le temps de développement de nouveaux moyens de dépistage, médicaments et vaccins.

APPORTS DE SOLEIL II

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.

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.

...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

Concevoir des catalyseurs plus performants

Plus des ¾ des objets manufacturés qui nous entourent sont obtenus par des procédés catalytiques. Ces derniers permettent des réactions sélectives (la substance souhaitée est produite en plus grande quantité), efficaces (moins de perte en composants initiaux), dans des conditions (température, pression...) moins consommatrices d'énergie. Un des enjeux de nombreux domaines industriels est de les comprendre finement et de les optimiser pour réduire significativement la consommation d'énergie.

SOLEIL II

Augmentation de la brillance et cohérence du rayonnement synchrotron =
 → **Étude de réactions catalytiques en conditions et en temps réels.**
 → **Meilleure compréhension des mécanismes d'activation des catalyseurs.**
 → **Préconisations pour obtenir des catalyseurs plus performants.**



Préserver les plantes

Pour respirer ou nous nourrir, notre vie dépend des plantes. L'accroissement de la population mondiale, le réchauffement climatique et les techniques d'agriculture intensive rendent les plantes plus vulnérables à la sécheresse et à la propagation rapide d'agents pathogènes. Optimiser la résistance des plantes à la sécheresse, et leur adaptation à l'émergence de nouveaux pathogènes : voici les défis de l'agriculture de demain.

SOLEIL II

Augmentation du flux, de la brillance et de la cohérence du rayonnement synchrotron =
 Amélioration qualitative des techniques de tomographie X, et de microscopie à balayage.
 → **Techniques non invasives apportant des informations morphologiques et chimiques (détection d'éléments traces dans les plantes).**



Combattre la résistance des bactéries aux antibiotiques

Les bactéries multi-résistantes aux antibiotiques tuent environ 700 000 personnes par an dans le monde. La compréhension des mécanismes d'entrée et d'expulsion des antibiotiques par ces bactéries sont les points clés de la lutte pour sauver des vies.

SOLEIL II

Augmentation du flux de photons sur les échantillons =
 Gain en qualité des mesures.
 → **Couplage de techniques analytiques pour élucider les mécanismes d'interactions entre antibiotiques et bactéries.**

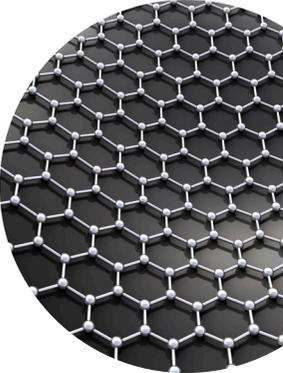


Développer la nanoélectronique

À la surface du graphène, matériau dit 2D car d'une finesse extrême (couche unique d'atomes de carbone), les électrons se déplacent 150 fois plus vite que dans le silicium. Peut-on envisager une électronique 150 fois plus rapide, basée sur le graphène ? Point bloquant : il n'est pas semi-conducteur, propriété indispensable aux composants électroniques. Mais des modifications du graphène, ainsi que d'autres matériaux 2D présentant des analogies avec le graphène, sont à l'étude pour relever ce défi.

SOLEIL II

Brillance extrême + augmentation du flux de photons cohérents =
 → **Identification et optimisation des matériaux pour une nouvelle génération de transistors ultrarapides, de taille nanométrique.**



Conserver et restaurer les patrimoines naturel et culturel

Au cours du temps, des processus d'altération menacent l'apparence des matériaux anciens, obscurcissent leur interprétation et peuvent conduire à leur destruction complète. Afin de les préserver pour les générations à venir, il est essentiel de comprendre leurs mécanismes d'altération et de développer des protocoles de conservation-restauration respectueux de l'environnement.

SOLEIL II

Augmentation de la brillance et de la cohérence du rayonnement synchrotron =
 → **Détection et caractérisation des constituants du nanomètre au millimètre.**
 → **Identification de traceurs de modifications physiques et chimiques dilués.**
 → **Analyse plus rapide, augmentation du nombre de spécimens étudiés.**



Comprendre les interactions entre atomes et molécules

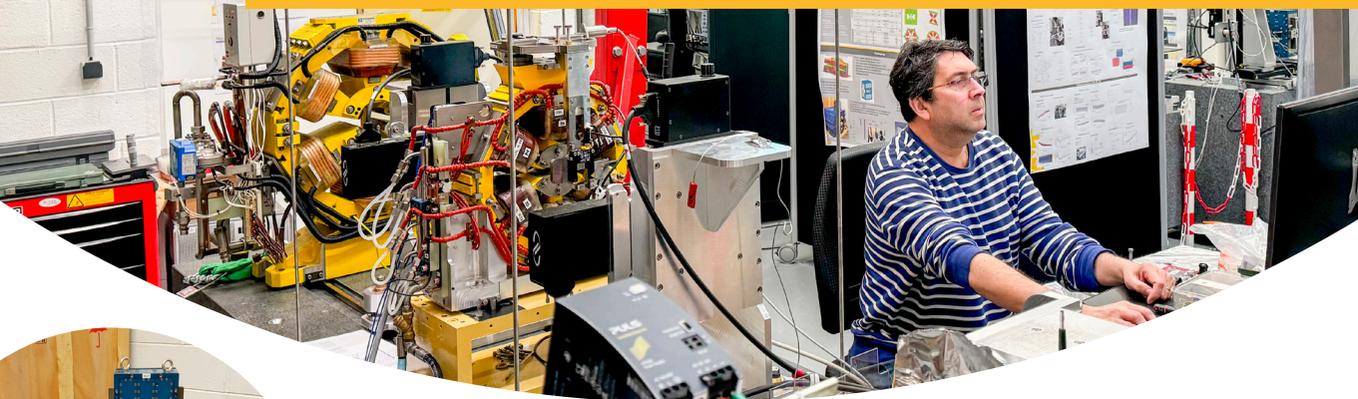
Connaitre la structure électronique des atomes et molécules isolés est crucial pour valider expérimentalement les modèles issus de la mécanique quantique. Mais, dans la matière notamment vivante, atomes et molécules ne sont pas isolés car ils interagissent avec leur environnement, et cela impacte leur structure électronique. Pour comprendre l'effet de ces interactions, des micro-jets de solutions d'ions atomiques ou moléculaires sont produits sous vide, permettant leur étude par spectroscopie des rayons X.

SOLEIL II

Augmentation de la brillance + meilleure focalisation du faisceau de photons =
 → **Étude d'échantillons encore plus dilués, d'objets nanométriques en solution, de gouttes.**
 → **Possibilité de faire plus facilement de la spectroscopie d'absorption des rayons X.**



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



L'accélérateur le plus performant au monde dans sa catégorie

Basé sur un nouvel arrangement des éléments magnétiques, l'accélérateur d'électrons de haute performance de SOLEIL II 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-dessus), les faisceaux de photons seront au moins 100 fois plus brillants et cohérents dans le domaine 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

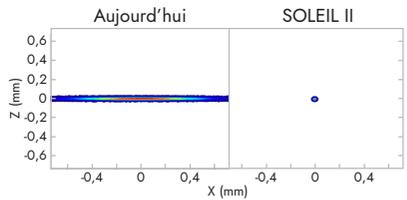


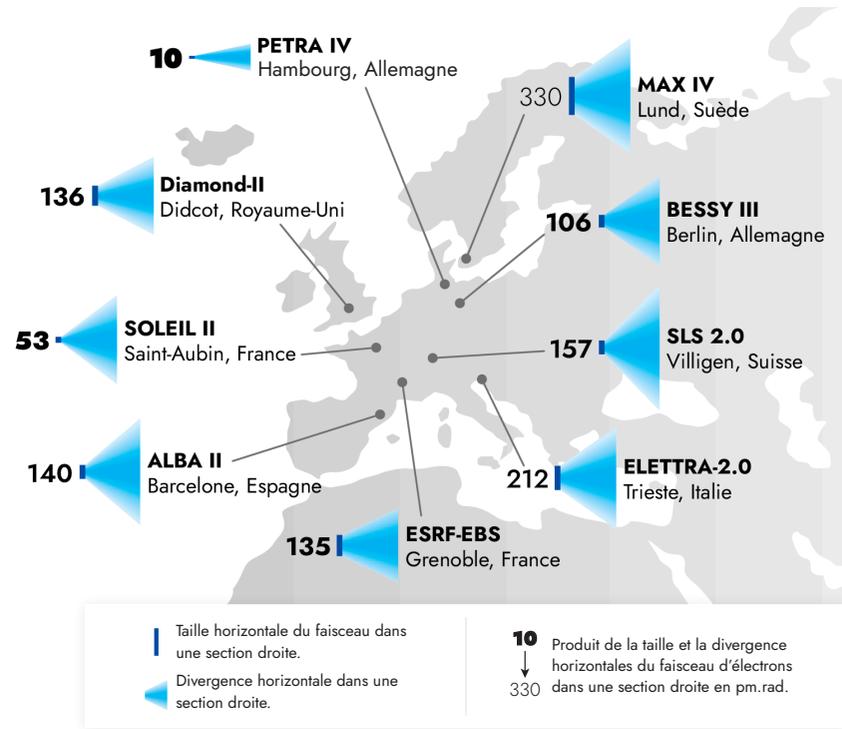
Image du faisceau d'électrons au point source d'une ligne de lumière, actuellement et avec SOLEIL II (simulation).

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 (cf. photos à gauche), 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 sept brevets.

Écosystème européen

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

Carte des synchrotrons européens de nouvelle génération.

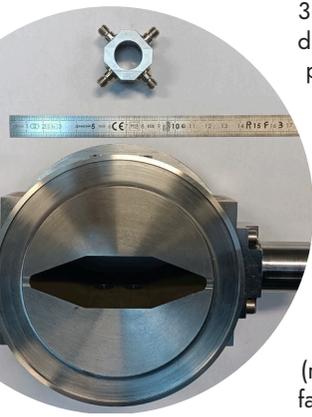


SOLEIL II se positionne dans un contexte européen très dynamique où tous les synchrotrons s'engagent dans une démarche similaire, initiée par la construction du synchrotron MAX IV en Suède, premier de cette nouvelle génération (cf carte ci-contre).

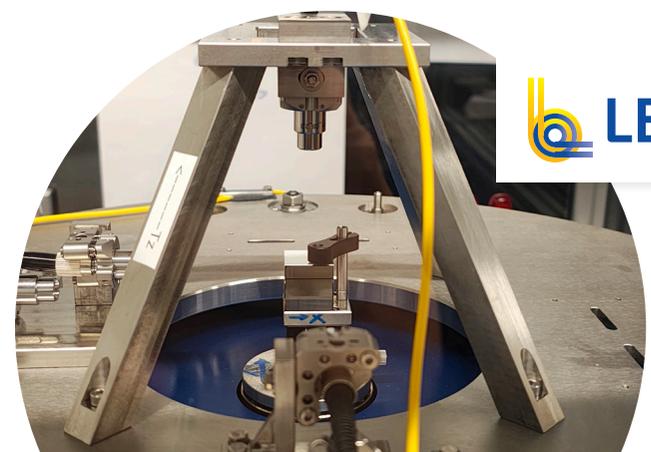
Les premiers résultats obtenus à MAX IV et à l'ESRF-EBS, le synchrotron européen à Grenoble, démontrent de manière spectaculaire le potentiel de ces sources extrêmement brillantes qui deviennent l'élément clé de la compétitivité de ces installations, et rendent SOLEIL II indispensable.

Avec ses faisceaux de photons dans la gamme allant de l'infrarouge lointain aux rayons X, SOLEIL II restera l'indispensable complément de l'ESRF-EBS, 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, LEAPS. SOLEIL s'est engagé résolument dans cette démarche, en particulier dans toutes les actions de développement d'instrumentation innovante qui bénéficieront pleinement à SOLEIL II, accélérant les développements et mutualisant leur coût.

Exemple de miniaturisation d'aimant guidant les électrons : un quadrupôle de SOLEIL II, posé sur un quadrupôle de SOLEIL.



Moniteurs de position du faisceau d'électrons : actuel, à SOLEIL (en bas), et prototype pour SOLEIL II (en haut).



LEAPS League of European Accelerator-based Photon Sources

Instrument de nano-tomographie à lévitation magnétique piloté par interférométrie laser développé pour SOLEIL et LEAPS par la société Mi-Partners.

Une modernisation en profondeur

Des développements instrumentaux innovants et une modernisation en profondeur seront nécessaires sur l'ensemble du portefeuille de lignes de lumière afin d'utiliser pleinement les caractéristiques uniques des faisceaux de lumière (brillance, cohérence et taille micrométrique) produits par les accélérateurs de SOLEIL II. Pour préserver la qualité du rayonnement synchrotron produit dans les accélérateurs, jusqu'à l'échantillon analysé, de nouvelles optiques, dont la forme sera contrôlée à l'échelle sub-nanométrique, doivent être conçues, fabriquées, puis validées. Par ailleurs, de nombreux défis d'ingénierie devront être relevés en particulier pour réaliser des dispositifs de nano-positionnement, assurer la stabilité mécanique et thermique, et développer davantage l'automatisation et la robotisation. La qualité des expériences effectuées sur les lignes de lumière dépendra également de l'intégration de détecteurs de nouvelle génération. Enfin, la gestion optimisée des flux de données produites au cours de ces expériences, ainsi que leur analyse, représentent un enjeu majeur et appellent à de nouvelles stratégies informatiques.

Les équipements seront adaptés et modernisés pour répondre aux nouvelles attentes des communautés scientifiques utilisatrices de SOLEIL II, par exemple l'accès à distance

aux lignes de lumière, l'analyse et la visualisation des données expérimentales en temps réel, la capacité de mener les expériences dans des conditions toujours plus proches des conditions réelles de fonctionnement ou d'utilisation des objets étudiés. Combiner des mesures sur plusieurs lignes de lumière, à différentes échelles de taille, et ainsi profiter de la large gamme de longueurs d'onde du rayonnement produit par SOLEIL, sera facilité avec SOLEIL II.

Tous ces développements ambitieux ont pour objectif de caractériser la matière inerte ou vivante du dixième de nanomètre jusqu'à quelques millimètres, d'étudier des phénomènes ultrarapides en temps réel, avec une sensibilité de détection considérablement améliorée. Ils offriront aux communautés scientifiques française et internationale des outils incomparables d'exploration des propriétés électroniques, magnétiques, chimiques et structurales de la matière.

La réalisation de ces développements bénéficiera de la mise en place de partenariats forts tant académiques qu'industriels, nationaux et internationaux.



Fiabilisation, par automatisation, des opérations de micro-pipetage sur la ligne de lumière SWING.

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 et appuyer le déroulement des projets expérimentaux sur les lignes de lumière. 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.

Salle informatique hébergeant une partie des ressources mutualisées de calcul et stockage de données de SOLEIL. Grâce à un chantier d'urbanisation, l'espace et le refroidissement alloués aux matériels informatiques y ont été optimisés.



Pour les utilisateurs des lignes de lumière, la valeur ajoutée de SOLEIL II 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 au synchrotron. Cette transformation sera basée sur une architecture modulaire, sécurisée et interconnectée, 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.

Vue d'une ligne de lumière depuis la coursive du hall d'expériences de SOLEIL.

D'AUTRES DIMENSIONS DE SOLEIL II

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

IMPACT SUR LA RECHERCHE ET L'INNOVATION

Chaque année, SOLEIL accueille plus de 5 000 utilisateurs. Issus de 1 200 laboratoires français et internationaux et de plus de 120 compagnies industrielles, ils viennent mener de l'ordre de 650 projets scientifiques grâce à l'outil pluridisciplinaire incomparable qu'est SOLEIL. L'efficacité accrue des expériences rendue possible par SOLEIL II permettra d'augmenter ces chiffres d'environ 30 %.

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 SOLEIL II au cœur de leurs orientations stratégiques, pourront en maximiser l'impact sur leur R&D.

IMPACT SOCIÉTAL, FORMATION ET MÉDIATION

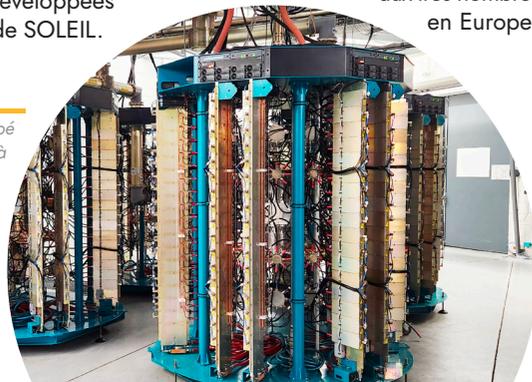
Un projet aussi innovant que SOLEIL II favorise déjà les opportunités de formation sur de nombreuses technologies de pointe. Le projet renforcera encore la politique dynamique d'apprentissage de SOLEIL, dont le personnel encadre traditionnellement entre 20 et 30 alternants par an.

SOLEIL est aussi un lieu d'échange et de diffusion de la culture scientifique et technique ouvert à tous les publics. Ainsi, plus de 4 000 personnes visitent le synchrotron annuellement. Les recherches menées grâce à SOLEIL II offriront de nouvelles opportunités d'actions pédagogiques et de médiation, qui continueront à être développées avec les multiples partenaires académiques de SOLEIL.

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, SOLEIL II 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.

Système d'amplification radiofréquence, conçu et développé à SOLEIL, permettant l'accélération du faisceau d'électrons à chaque tour de booster ou d'anneau de stockage. SOLEIL a été le premier synchrotron à utiliser ces dispositifs, à présent devenus des éléments incontournables pour tous les projets de modernisation vers de nouveaux synchrotrons de 4^{ème} génération.



Une installation plus verte

Le remplacement des équipements vieillissants de SOLEIL après deux décennies d'exploitation réduira considérablement l'empreinte environnementale de l'installation.

Une première phase de modernisation a d'ores et déjà été réalisée, avec la construction et la mise en service en 2024 d'une nouvelle station de production d'eau glacée, financée grâce au plan France Relance. Celle-ci alimente les différents réseaux d'eau qui assurent le refroidissement des équipements de l'accélérateur d'électrons et des lignes de lumière, ainsi que la

climatisation des différents bâtiments du site. Elle contribue ainsi à l'excellente stabilité des faisceaux sur les lignes de lumière, appréciée de nos utilisateurs. Cette nouvelle station permet une économie de 80% sur la consommation d'eau potable. En outre, elle sera à terme raccordée au réseau d'échange de chaleur et de froid de Paris-Saclay, pour chauffer 1000 logements du campus urbain et le centre aquatique de la ville de Gif-sur-Yvette.

Une modernisation progressive des équipements utilisés pour l'accélération des électrons (tours d'amplification RF) a démarré et se poursuivra jusqu'en 2027, pour répondre aux exigences de SOLEIL II. Outre le gain en performance et en fiabilité, cette jouvence permettra une économie d'électricité de 1,25 GWh/an.

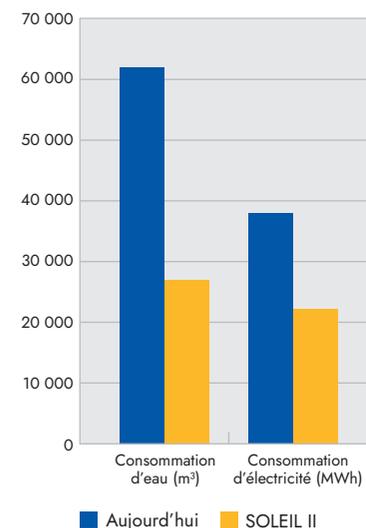
De plus, les nouveaux accélérateurs de SOLEIL II seront construits dans l'objectif d'une utilisation raisonnée des ressources. Le recours à des aimants permanents, recyclés dans la mesure du possible, en remplacement des électroaimants énergivores, se traduira par une réduction drastique (jusqu'à 50%) de la consommation électrique. Cet objectif de rationalisation et d'économie sera étendu aux

fluides rares, comme l'hélium, avec la généralisation de circuits fermés dans les systèmes utilisant ces fluides.

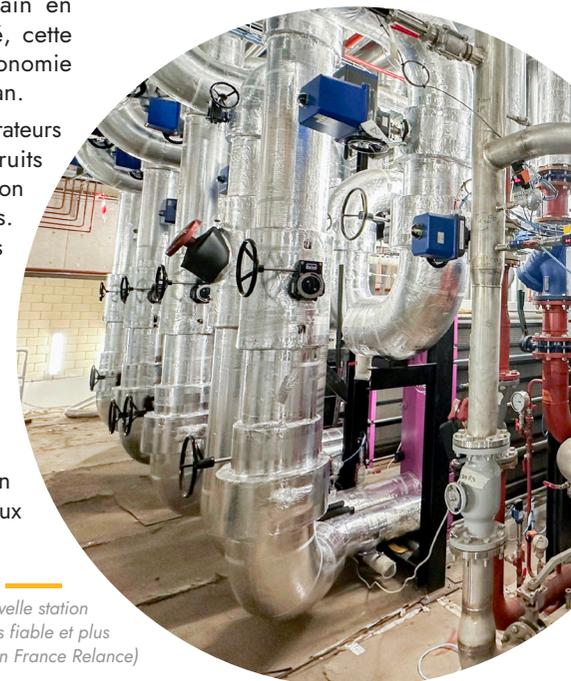
Enfin, des outils de conduite des expériences à distance seront proposés, lorsque cela sera possible et souhaitable, sur l'ensemble des lignes de lumière, ce qui contribuera à réduire l'empreinte carbone des utilisateurs.

SOLEIL a par ailleurs établi le bilan d'émission de gaz à effet de serre (BGES) liée à ses activités pour les années 2022 et 2023. Des mesures efficaces de réduction de notre empreinte pourront être mises en œuvre sur la base du suivi régulier de ce BGES.

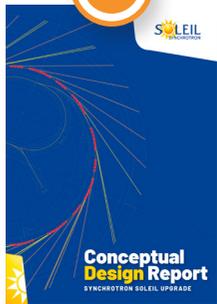
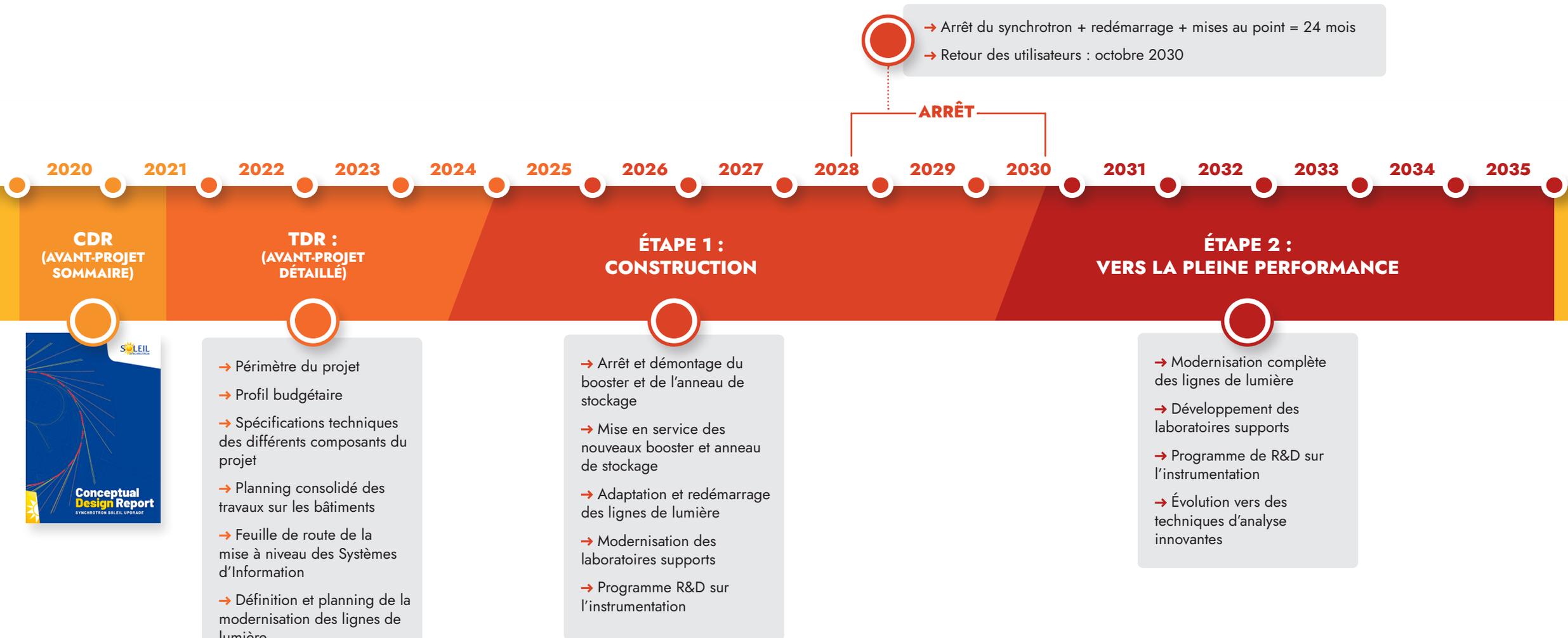
Évolution de la consommation électrique et en eau.



Circuits de refroidissement dans la nouvelle station de production d'eau glacée, plus fiable et plus écologique (financée par le Plan France Relance)



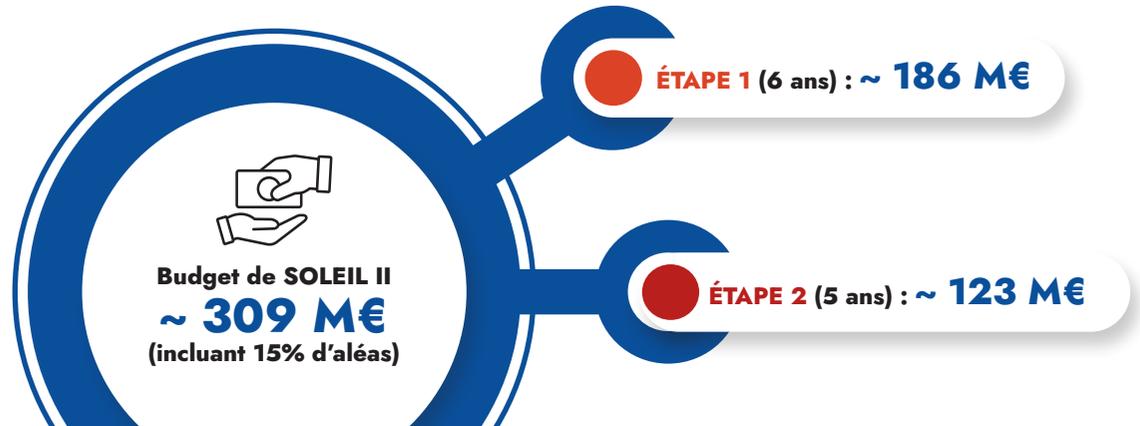
CHRONOLOGIE ET STRUCTURATION DU PROJET SOLEIL II



- Périmètre du projet
- Profil budgétaire
- Spécifications techniques des différents composants du projet
- Planning consolidé des travaux sur les bâtiments
- Feuille de route de la mise à niveau des Systèmes d'Information
- Définition et planning de la modernisation des lignes de lumière
- Structuration et organisation du projet

- Arrêt et démontage du booster et de l'anneau de stockage
- Mise en service des nouveaux booster et anneau de stockage
- Adaptation et redémarrage des lignes de lumière
- Modernisation des laboratoires supports
- Programme R&D sur l'instrumentation

- Modernisation complète des lignes de lumière
- Développement des laboratoires supports
- Programme de R&D sur l'instrumentation
- Évolution vers des techniques d'analyse innovantes



SOLEIL II : LE SYNCHROTRON LE PLUS PERFORMANT

AU MONDE DANS SA CATÉGORIE

- grâce à la jouvence des accélérateurs et des lignes de lumière en deux étapes de 5 ans
- relevant les défis de demain, afin de maintenir la compétitivité de la recherche française en Europe
- complémentaire de l'ESRF-EBS pour offrir aux laboratoires français un ensemble de techniques synchrotron unique au monde
- économe en 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



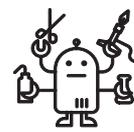
EXPÉRIENCES
JUSQU'À **1 000 FOIS**
PLUS SENSIBLES



ETUDE DE DISPOSITIFS
EN CONDITIONS RÉELLES
DE FONCTIONNEMENT



SOURCE DE LUMIÈRE
UNIQUE, **DE L'INFRAROUGE**
AUX RAYONS 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

