



Les matériaux avancés

Les matériaux du futur devront avoir des coûts économiques et énergétiques très faibles, tout en ouvrant de très larges horizons grâce à leurs propriétés et aux applications qui en découleront.

L'Upgrade de SOLEIL fera partie de la chaîne de production de connaissances : laboratoires, plateformes de synthèse, plateformes de caractérisation, couplés à l'intelligence artificielle et au calcul haute performance, qui permettra d'accélérer le design des matériaux avec des fonctionnalités innovantes.

DES ORDINATEURS PLUS COMPACTS, MOINS ÉNERGIVORES

Aujourd'hui, la capacité totale de stockage de données se situe entre 10 et 50 zettaoctets (10^{21}), et cette valeur pourrait doubler tous les deux ans.

Pour une plus grande densité de stockage de données et une plus faible consommation électrique, de nouveaux objets magnétiques de dimension nanométrique, tels que les aimants moléculaires uniques ou les skyrmions (voir verso), pourraient permettre de concevoir des supports de stockage à haute densité d'information.

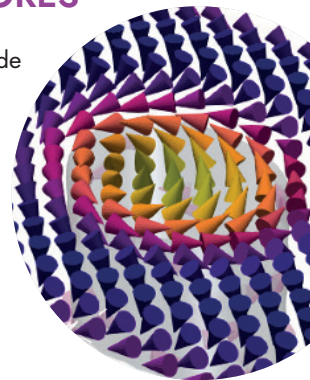
UPGRADE DE SOLEIL

Brillance extrême + augmentation du flux de photons cohérents =

→ **Compréhension précise du mécanisme de formation des matériaux quantiques.**

→ **À terme : utilisation de ces matériaux dans de futures technologies : microélectronique répondant aux nouveaux enjeux sociétaux, ordinateur quantique...**

Plus d'informations au verso 



APRÈS LA MICROÉLECTRONIQUE, 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.

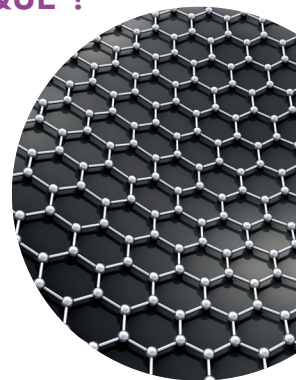
Peut-on envisager une électronique 150 fois plus rapide, basée sur le graphène ? Point bloquant : il n'est pas semi-conducteur, propriété indispensable aux composants électroniques. Mais des modifications du graphène, ainsi que d'autres matériaux 2D, ayant des analogies avec le graphène, sont à l'étude pour relever ce défi.

UPGRADE DE SOLEIL

Brillance extrême + augmentation du flux de photons cohérents =

→ **Identification et optimisation des matériaux pour une nouvelle génération de transistors ultra-rapides, de taille nanométrique.**

→ **Ouverture de la voie à la nanoélectronique.**



DES MATÉRIAUX SUR MESURE

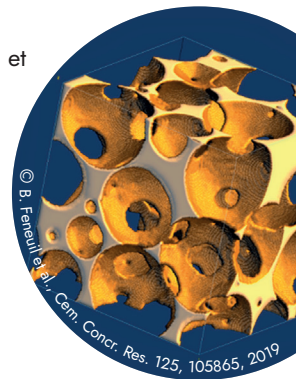
Modifier ou adapter à la demande les propriétés de nouveaux matériaux, guider leur synthèse pour obtenir les propriétés voulues, accélérer et réduire leur coût de développement grâce à des méthodes d'intelligence artificielle permettra de concevoir des produits répondant à nos besoins dans de nombreux domaines : informatique, conversion d'énergie, textiles intelligents, construction, transport, industrie automobile, aéronautique, sécurité...

UPGRADE DE SOLEIL

Augmentation du flux de photons cohérents et de la focalisation des faisceaux de photons + mesures à haut débit optimisées grâce à des méthodes d'automatisation & d'intelligence artificielle =

→ **Suivi de l'évolution des matériaux en conditions réelles de fonctionnement et au cours du temps.**

→ **« Design inverse » de matériaux (matériaux sélectionnés ou conçus à partir des propriétés attendues).**



© B. Frenet et al., Cem. Concr. Res. 125, 105865, 2019



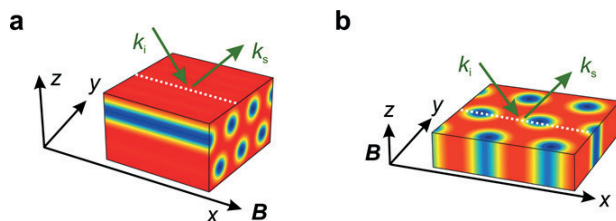
LES ORDINATEURS DU FUTUR SERONT PLUS RAPIDES, PLUS COMPACTS ET MOINS ÉNERGIVORES GRÂCE AUX MATÉRIAUX QUANTIQUES

Birch et al Nature communications, 11: 1726 (2020)

Zhang et al., Nano Letters 20(2): 1428-1432 (2020)

L'intelligence artificielle et les Big Data ont besoin d'une capacité de stockage des données croissante, et les ordinateurs, data centers et réseaux engloutissent près de 10 % de la consommation électrique mondiale, avec une croissance de 5 à 7% par an. La quête pour de meilleurs supports de l'information est donc cruciale pour ralentir cette flambée. Pour ce faire, on cherche à former les bits en manipulant le moins d'atomes possible.

Les skyrmions, observés pour la première fois en 2009, sont des tourbillons (ou vortex) d'aimantation, et peuvent être formés à partir des électrons d'une dizaine d'atomes seulement. Il faut 100 000 fois moins de densité de courant électrique pour les manipuler que les paquets d'atomes magnétisés des mémoires standards. Ils sont de plus stables face aux perturbations extérieures (fluctuations de température ou de champ magnétique), et ont un faible encombrement permettant des densités de stockage élevées. Les skyrmions pourraient donc être utilisés pour réaliser des ordinateurs plus rapides, plus compacts et plus économes.



Réponses actuelles de SOLEIL :

Un nouvel état de skyrmions a été découvert par diffusion élastique des rayons X à SOLEIL : des skyrmions en surface !

Ils ont été observés directement par des techniques de microscopie et d'holographie des rayons X, d'abord en volume (tubes de skyrmions) par Birch et al., puis en surface par Zhang et al. Ils ont une épaisseur <120nm et donc un encombrement très faible, un atout pour les applications dans les mémoires magnétiques et le stockage de données.

L'avantage de l'imagerie par rayons X dans l'étude de ces systèmes soumis à un champ magnétique est qu'elle permet la détermination de la structure des textures magnétiques sans ambiguïté, contrairement à la microscopie électronique qui est perturbée par la présence de ce champ magnétique. La résolution spatiale obtenue lors des mesures d'holographie de rayons X à SOLEIL est aujourd'hui < 20nm.

La possibilité d'utiliser à SOLEIL plusieurs instruments et techniques de rayons X, avec des capacités uniques (brillance, résolution spatiale et énergies des rayons X ajustables) a joué un rôle essentiel dans le succès de ce projet.

- a) Nouvel état de skyrmions en surface
- b) Etat conventionnel en volume

UPGRADE DE SOLEIL

Accès à plusieurs techniques expérimentales complémentaires utilisant les rayons X mous



Augmentation de la brillance et de la cohérence



Combinaison unique en Europe

L'Upgrade de SOLEIL permettra une augmentation d'un facteur >100 dans la brillance et la cohérence, ce qui améliorera par 100 000 l'efficacité en flux des techniques d'imagerie avec les X mous.

Il sera alors possible d'atteindre une résolution spatiale à l'échelle du nm, et d'envisager l'imagerie *operando* de ces potentiels bits de nos ordinateurs du futur.



Synchrotron SOLEIL

L'Orme des Merisiers - Départementale 128 - 91190 Saint-Aubin - FRANCE
www.synchrotron-soleil.fr

