



Alain SCHUHL Directeur de l'Institut NEEL

Vous avez entre vos mains le livret du PHYSIQUARIUM, l'espace visiteur de l'Institut NEEL. Par delà une présentation générale et un descriptif des grandes thématiques de recherches de notre laboratoire, vous trouverez dans cette brochure un aperçu de quelques découvertes scientifiques récentes ainsi qu'une présentation didactique des trois grands piliers historiques sur lesquels s'appuient les avancées de notre laboratoire : le magnétisme, la cristallographie et la cryogénie. C'est sur ce socie que se développent nos recherches actuelles.

Les chercheurs de l'Institut NEEL conçoivent, élaborent et développent des protocoles d'études pour faire avancer notre compréhension scientifique dans nos domaines d'investigation : la physique de la matière condensée (l'étude des solides, des liquides, des verres, des polymères, etc.), ses interfaces avec la chimie, l'ingénierie et les sciences du vivant, et ses multiples applications.

Il est aussi de notre responsabilité de vulgariser nos travaux pour les rendre accessibles à un plus grand nombre.

> Cela passe, j'en suis persuadé, par des passerelles entre des recherches de plus en plus spécialisées et la curiosité de chacun d'en comprendre les motivations. Telle est la raison d'être du PHYSIOUARIUM.

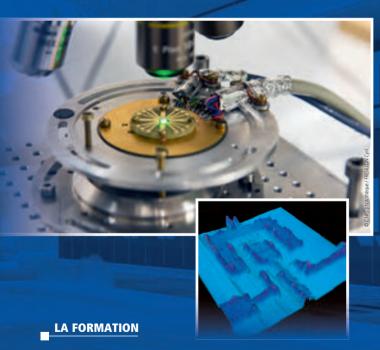


# PRESENTATION DE L'INSTITUT NEEL

L'Institut NEEL est un laboratoire de recherche fondamentale en physique de la matière condensée s'ouvrant aux thématiques de la chimie et de l'ingénierie.

S'appuyant sur un socle exceptionnel d'expertises technologiques, 450 personnes explorent un vaste domaine scientifique : supraconductivité, fluide quantique, nouveaux matériaux, cristallographie, science des surfaces, nano-électronique quantique, nanomécanique, optique non linéaire et quantique spintronique, magnétisme...

Il bénéficie d'un réseau de liens solides formés entre le CNRS, l'Université Joseph Fourier, Grenoble INP, le CEA, l'ILL et l'ESRF.



La formation constitue une des missions essentielles de l'Institut NEEL. Nous accueillons chaque année une centaine de stagiaires de tout niveau. La formation à la recherche de la centaine de doctorants de l'Institut NEEL est un élément vital de sa réussite scientifique.

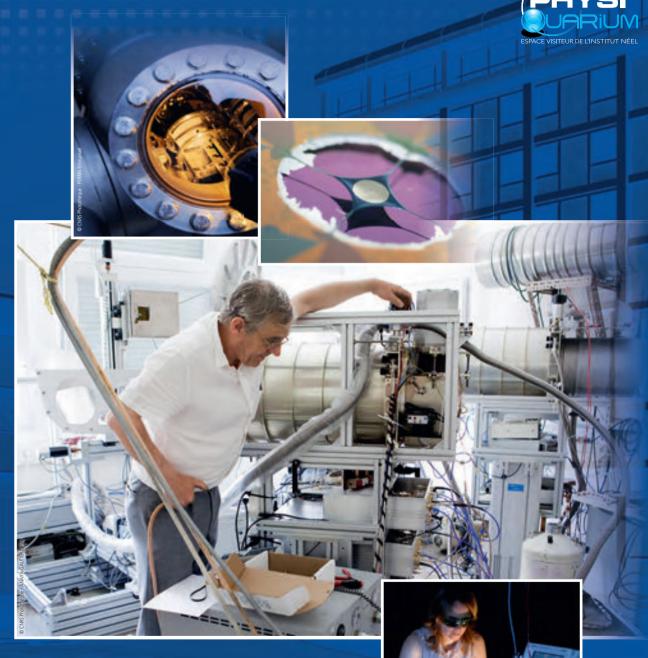
L'Institut NEEL participe aussi à l'animation de nombreuses Écoles Internationales : les écoles sur les grands instruments, les nanosciences et nanotechnologies, la cryogénie et le magnétisme.

# VALORISATION

La valorisation des résultats de ses recherches est une préoccupation majeure du laboratoire. Cela se traduit par une trentaine de brevets actifs, plusieurs dizaines de licences, des contrats de recherche avec les grands laboratoires de développement grenoblois et environ une demi-douzaine de partenariats directs avec des entreprises : PME et grands groupes.

# INTERNATIONAL

L'Institut NEEL s'investit dans de nombreuses collaborations internationales, sous de multiples formes que cela soit par des accords bilatéraux ou dans le cadre de programmes internationaux. L'Institut NEEL tient toute sa place dans les programmes européens de recherche et développement tels que Nanoscience Matériaux et Procédés, Technologie de l'Information et de la Communication.

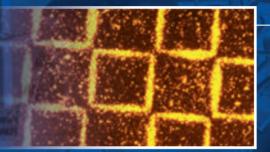


# DES MÉTIERS POUR LA RECHERCHE

La recherche nécessite la convergence de nombreuses compétences : chercheurs, enseignants, ingénieurs et techniciens œuvrent ensemble au sein du laboratoire.

# LES THÈMES DE RECHERCHES

Le cœur de métier de l'Institut NEEL est la recherche fondamentale en physique de la matière condensée, avec des liens interdisciplinaires vers la chimie, l'ingénierie et les sciences du vivant. Les grands domaines de son activité de recherche sont les suivants :



# MAGNÉTISME ET ÉLECTRONIQUE DE SPIN

Le magnétisme est un axe historique de la recherche grenobloise. À l'Institut NEEL plusieurs équipes s'intéressent aux propriétés magnétiques fondamentales comme les interactions magnétiques et le couplage magnétique. L'électronique du spin, couplant magnétisme et transport électronique, est un autre axe majeur avec comme objectif la création de dispositifs pour les futures technologies de l'information et de la communication.



L'interaction lumière-matière peut permettre de manipuler les photons un à un, de les mélanger ou de les coupler avec des nanostructures individuelles comme des boîtes quantiques ou des nano-diamants. En présence de métaux nobles comme l'or ou l'argent, ces photons viennent se piéger à des échelles nanométriques (sub-longueur d'onde), permettant d'augmenter considérablement l'efficacité de ces interactions.





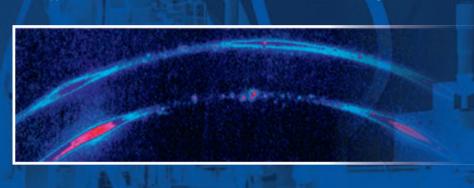
### ÉLECTRONIQUE QUANTIQUE, MOLÉCULAIRE ET À LARGE BANDE INTERDITE

La miniaturisation est dans l'air du temps et les composants électroniques sont en tête de la compétition. À l'Institut NEEL, les chercheurs conçoivent des circuits électroniques de l'ordre du nanomètre et étudient leurs propriétés quantiques. Ils s'intéressent aussi au transport d'information dans une molécule unique et aux propriétés du diamant pour des applications dans l'électronique à très haute tension et à haute température.



# SYSTÈMES CORRÉLÉS, FLUIDES QUANTIQUES ET SUPRACONDUCTIVITÉ

Les interactions entre électrons sont à l'origine de propriétés originales de certains matériaux, comme la supraconductivité, le magnétisme, la superfluidité, les ordres de charge. Les travaux expérimentaux et théoriques des chercheurs de l'Institut NEEL portent sur les mécanismes physiques fondamentaux à l'œuvre dans ces systèmes et leur application dans les domaines du traitement de l'information et de l'énergie.



### MATÉRIAUX : ÉLABORATION, STRUCTURE ET FONCTIONS

Il existe une relation étroite entre l'arrangement atomique (la structure) d'un matériau et ses propriétés. Les chercheurs de l'Institut NEEL étudient ainsi la structure de matériaux pour mieux comprendre et optimiser leurs propriétés. Le laboratoire possède ainsi une large expertise dans l'élaboration, ce qui permet la création de nouveaux matériaux pouvant porter des fonctions inédites.

# INSTRUMENTATION

L'Institut NEEL possède un socle exceptionnel de compétences dans des domaines aussi divers que la cryogénie, l'électronique, la mécanique, la cristallogenèse, l'instrumentation sur grands instruments. Au-delà de développements destinés à nos propres axes de recherches, nous menons également une recherche spécifique en instrumentation pour les besoins d'autres disciplines scientifiques tels que l'astrophysique et la physique des particules, la biologie et la santé...



# ACTIONS TRANSVERSES

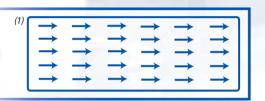
Par-delà l'organisation en départements, pôles de compétence et équipes de recherche, de nombreuses actions transverses, scientifiques ou technologiques, créent une forte synergie dans nos recherches. Il s'agit notamment de nos actions dans les domaines de la chimie, des grands instruments, de l'énergie, de la théorie, de la biophysique.

# MAGNETISME MAGNETISME

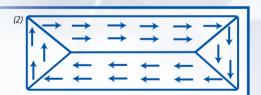
# Nous connaissons tous les aimants, mais savez-vous comment ça marche ?

Soumis à un champ magnétique extérieur, certains matériaux s'aimantent : ils peuvent alors produire eux-mêmes un champ magnétique. C'est le cas des matériaux ferromagnétiques, ou ferrimagnétiques, qui permettent la fabrication d'aimants permanents.

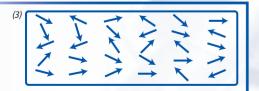
# **EXPLICATIONS**



Dans un matériau ferromagnétique comme le fer, les atomes appartiennent à des domaines dans lesquels l'intégralité des petits aimants sont orientés dans une même direction, différente d'un domaine à l'autre.



Lorsqu'on soumet ce matériau à un champ magnétique extérieur, l'ensemble des petits aimants tendent à s'aligner dans la direction de ce champ : le matériau s'aimante (Fig. 2).

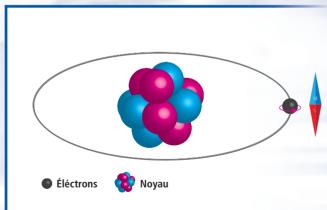


Le ferromagnétisme disparaît au-dessus d'une certaine température (770 °C pour le fer). L'agitation thermique brise alors l'ordre magnétique, c'est le paramagnétisme (Fiq. 3).

# \_ LE FERROMAGNÉTISME

Dans la matière, les atomes peuvent être assimilés à des petits aimants.

Le ferromagnétisme est la propriété qui traduit la tendance qu'ont ces petits aimants à s'orienter tous dans la même direction (Fig. 1).



# LE MAGNÉTISME DANS LA MATIÈRE

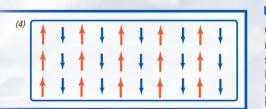
La rotation des électrons sur eux-mêmes (le spin) et leur mouvement orbital autour du noyau sont responsables des propriétés magnétiques de la matière.





#### **LES AIMANTS PERMANENTS**

Les aimants permanents sont des matériaux ferromagnétiques durs. Ils conservent une aimantation après avoir été soumis à un champ magnétique extérieur et sont difficiles à désaimanter



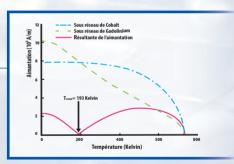
# **FERRIMAGNÉTISME**

C'est un cas plus subtil, résultant de la tendance de certains des atomes magnétiques à s'orienter anti-parallèlement : la plupart des oxydes de fer sont ferrimagnétiques. La découverte de cet état valut à Louis Néel le prix Nobel en 1970.

Les atomes magnétiques sont arrangés en deux sous-réseaux (tous parallèles au sein d'un même sous-réseau, anti-parallèles d'un sous-réseau à l'autre) (Fig. 4).

# Variation thermique de l'aimantation d'un matériau ferrimagnétique.

En fonction de la température du matériau, l'aimantation totale s'annule puis s'inverse à la compensation.



# (5)

# LES ÉLECTROAIMANTS

Il est aussi possible de créer des champs magnétiques avec de l'électricité. Cela s'appelle les électroaimants. Ils sont formés :

- de bobinages d'excitation parcourus par un courant électrique,
- d'un matériau magnétique destiné à renforcer la valeur du champ magnétique et à le canaliser,
- d'un entrefer\* où le champ magnétique est utilisable.

\*Coupure dans un circuit magnétique.

Électroaimant réalisé au laboratoire et utilisé sous un microscope. Il peut créer un champ dans n'importe quelle direction de l'espace jusqu'à 0,2 Tesla (Fig. 5).



# MAIS CONCRÈTEMENT ÇA SERT À QUOI ?

Le magnétisme est omniprésent dans notre vie quotidienne, le plus souvent sans même qu'on s'en rende compte...



# **CRÉER DES COURANTS**

#### LE CHAUFFAGE PAR INDUCTION

Les courants induits sont des courants électriques qui apparaissent lorsqu'un conducteur est en mouvement dans un champ magnétique constant ou lorsqu'un conducteur est immobile dans un champ magnétique variable.

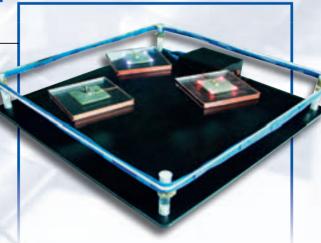
Le chauffage par induction est produit par les courants induits (appelés courants de Foucault) dans la pièce à chauffer.

Ce principe est aussi utilisé dans les plaques à inductions.

### L'ÉLECTRICITÉ SANS FIL

Une bobine dans laquelle circule un courant électrique variable de fréquence élevée (1,2 MHz) génère un champ magnétique variable qui lui-même génère un courant électrique dans les bobines réceptrices, accordées en fréquence, placées à proximité.

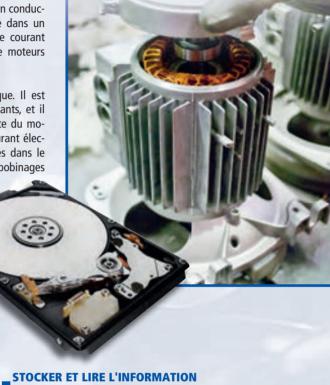
Ce principe est utilisé pour les chargeurs sans fil de téléphones portables.



# LES MOTEURS ÉLECTRIQUES

La force de Laplace est une force qui s'exerce sur un conducteur parcouru par un courant électrique et placé dans un champ magnétique. Elle permet la conversion de courant électrique en mouvement, et donc l'existence de moteurs électriques.

Le stator est la partie fixe d'un moteur électrique. Il est constitué d'aimants permanents ou d'électroaimants, et il entoure le rotor. Ce dernier est la partie tournante du moteur. Il porte des bobinages, parcourus par un courant électrique et donc soumis à une force puisque placés dans le champ magnétique produit par le stator. Les bobinages étant solidaires du rotor, celui- ci tourne.



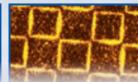
Un disque dur est une couche mince (environ 10 nm) constituée de grains magnétiques. L'écriture sur un disque dur consiste à aimanter les grains magnétiques dans un sens ou dans l'autre, à l'aide d'un champ

# ET QUOI D'AUTRES...







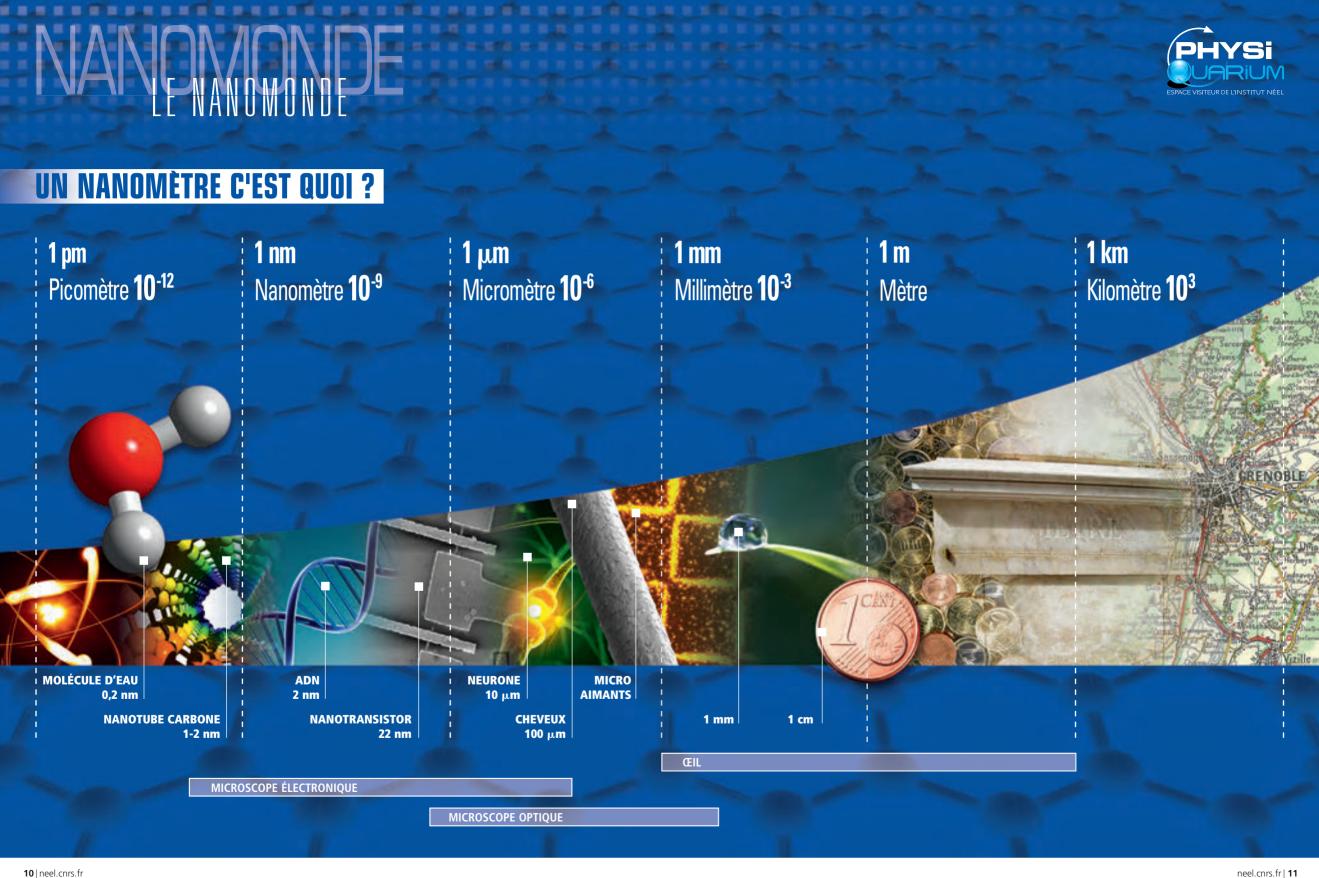


LHC CERN.

Lévitation diamagnétique, graphite.

Lévitation de petites particules sur les forts gradients de champ des micro-aimants. Application en biologie et médecine.

8 | neel.cnrs.fr neel.cnrs.fr | 9



# BASSES TEMPÉRATURES



Dans notre vie quotidienne, la température est associée aux sensations de "chaud" et "froid". En physique, la température d'un objet est une mesure de l'énergie moyenne d'agitation des atomes ou des molécules qui le composent.

# **EXPLICATIONS**





#### **ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE**

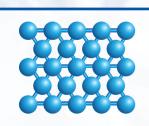
Les degrés Kelvin (K) sont utilisés par les physiciens du froid.

Il s'agit d'une échelle absolue de température qui a le même pas de graduation que les degrés Celsius (1  $^{\circ}C = 1$  K) mais qui est décalée (0  $^{\circ}C = 273.15$  K).

La valeur de 0 K (zéro absolu) correspond à une absence totale d'agitation de la matière (à l'exception des fluctuations quantiques) et ne peut par définition pas être atteinte en pratique.

# LES ÉTATS DE LA MATIÈRE

Suivant la température, la pression et la nature des atomes ou des molécules qui la constituent, la matière s'organise sous différentes formes appelées "états". Les principaux états sont : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.







SOLIDE

LIQUIDE

GAZEUX

# LE ZÉRO ABSOLU! OUI MAIS COMMENT?

#### 1 - POMPAGE SUR UN LIQUIDE

373,15 K Ébullition de l'eau

273,15 K Fusion de la glace 184 K Record de froid sur terro

-268,9°C

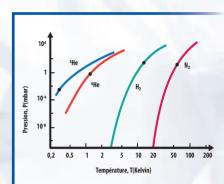
0,3 K

100 mk

10 mK

Vers le zéro absolu

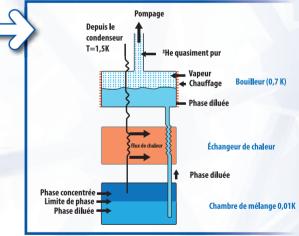
A l'Institut NEEL les chercheurs travaillent à des températures proche du 0 kelvin, mais comment atteindre de telles températures? L'évaporation forcée d'une molécule du liquide prélève de l'énergie au liquide et abaisse sa température. Grâce à cette technique nous pouvons arriver à des températures de 0,3 kelvin avec de l'helium 3 (3He).



# 2 - DILUTION <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He

Pour descendre jusqu'à une dizaine de millikelvin il existe la technique de la dilution <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He.

Le passage forcé d'un atome d'<sup>3</sup>He d'une phase concentrée à une phase diluée prélève de l'énergie à la phase concentrée et abaisse sa température.



#### 3 - DÉSAIMANTATION ADIABATIQUE

Pour refroidir plus encore, et atteindre le millikelvin, on utilise la technique de désaimantation adiabatique.

Le désalignement aléatoire des moments magnétiques électroniques ou nucléaires (préalablement alignés par l'application d'un champ magnétique) prélève de l'énergie au système et abaisse sa température.

12 neel.cnrs.fr anneel.cnrs.fr

# BASSES TEMPÉRATURES



# MAIS CONCRÈTEMENT ÇA SERT À QUOI ?



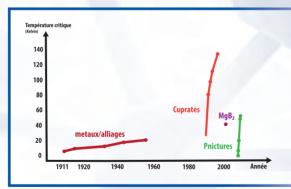
Lévitation d'un aimant placé au-dessus d'une pastille de supraconducteur cuprate de type YBaCuO (Yttrium, Baryum, Cuivre, Oxygène) refroidie dans de l'azote liquide à -196 °C.

# ÉTUDIER DES PROPRIÉTÉS NOUVELLES

En abaissant la température d'un objet, l'agitation microscopique de la matière qui le constitue diminue et des propriétés nouvelles (en particulier quantiques) peuvent apparaître comme la supraconductivité et la superfluidité.

### LA SUPERCONDUCTIVITÉ

En dessous d'une certaine température, un matériau supraconducteur est un diamagnétique parfait (le champ magnétique est toujours nul dans le matériau) et sa résistance électrique devient nulle.



#### **APPLICATIONS**

Les supraconducteurs sont utilisés dans la fabrications d'éléctro-aimants pour la médecine (IRM) et la recherche fondamentale (aimants du CERN).

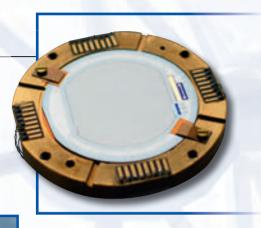


### \_ FABRIQUER DES DÉTECTEURS ULTRASENSIBLES

#### LES BOLOMÈTRES

Les bolomètres sont des détecteurs ultrasensibles de rayonnement (rayonnements infrarouges, millimétriques, micro-ondes, etc.) ou de particules. Plus le bolomètre est froid et plus il est sensible.

Ils sont utilisés pour pour la détection de la matière noire (projets ULTIMA et EDELWEISS) ou la mesure du rayonnement fossile de l'Univers (satellite Planck), etc.



Dans le radiotélescope millimétrique de Pico Veleta (sierra Nevada), les bolomètres ont été remplacés par de nouveaux détecteurs supraconducteurs appelés KIDs (Kinetic Inductance Detectors) refroidis à 200 mK.





# FAITS MARQUANTS



# 12 films pour mieux comprendre...

À travers une série de 12 clips l'Institut NEEL vous amène dans son laboratoire pour vous faire découvrir le monde de la recherche.

Retrouvez les films sur neel.cnrs.fr/physiquarium

# **DÉCODER LE BLEU DE PRUSSE**

Comprendre les mécanismes de dégradation des matériaux de la peinture est nécessaire pour conserver voire restaurer une œuvre. C'est cependant une tâche souvent complexe vu le nombre de matériaux différents constituant une couche picturale. Le bleu de Prusse, pigment synthétique découvert en 1704, est connu pour perdre son éclat avec le temps et prendre une teinte

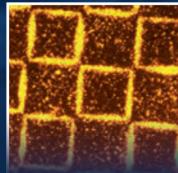
Des chercheurs de l'Institut NEEL et de gradients de champ magnétique sont obtel'Université de Liège se sont intéressés à ce problème et ont combiné différentes techniques d'analyse physico-chimique pour caractériser des pigments préparés "à l'ancienne". Des composés indésirables. qui n'avaient jamais été détectés jusqu'à présent, ont ainsi été mis en évidence. En particulier, la ferrihydrite, de couleur orange, explique le teint verdâtre pris par les bleus de Prusse anciens.



# **DES MICRO-AIMANTS POUR DES APPLICATIONS** BIOMÉDICALES

Les chercheurs de l'Institut NEEL ont développé des méthodes originales pour fabriquer des micro-aimants utilisés dans des applications du domaine biomédical. Des zones de direction d'aimantation almagnétiques par des procédés spécifiques. La couche magnétique structurée devient la source d'un champ magnétique intense dit de fuite, et surtout de très fortes valeurs de nues : le champ décroît très vite à partir de la surface des aimants.

Les applications incluent le tri cellulaire pour des analyses biologiques ex-situ, tifiques ont obtenu pour la première fois le la capture *in vivo* de biomarqueurs pour la détection de cancers au premier stade et le développement d'études biologiques fondamentales. Tous ces travaux font l'obiet de collaborations étroites avec des biologistes vers une électronique nouvelle à base de et des médecins.

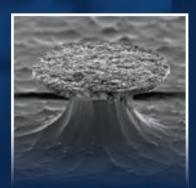


# **DES TRANSISTORS EN DIAMANT**

Les semi-conducteurs classiques supportent mal des hautes températures, des puissances et des fréquences élevées. Un petit transistor en diamant peut y arriver.

Théoriquement, le diamant possède les propriétés physiques idéales pour la réalisation de composants électroniques destinés à des ternées sont inscrites au sein de couches utilisations dans les domaines "fort courant et haute tension". Il devrait remplacer le silicium dans des environnements hostiles. Les chercheurs de l'Institut NEEL fabriquent des composants en diamant afin de transformer les potentialités du diamant en une

> En proposant un mariage inédit entre le diamant, des oxydes et des métaux, les sciencontrôle de la population des porteurs à l'interface diamant/oxyde (accumulation, déplétion, déplétion profonde et/ou inversion). Cette découverte est un pas supplémentaire carbone, appelée "green electronics".



# **LE STOCKAGE** DE L'HYDROGÈNE

L'émergence des énergies renouvelables par nature intermittentes rend de plus en plus complexe la gestion des réseaux électriques. La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau offrirait un moyen efficace de stocker l'électricité.

au point un matériau composite capable d'absorber l'hydrogène et de le stocker dans l'état solide. Ce matériau composé. mélange de poudre d'hydrure de magnésium (MgH2), d'additifs à base d'alliage de métaux et de graphite expansé, permet le stockage de 600 litres d'hydrogène à pression atmosphérique dans un disque de 30 cm de diamètre et 1 cm d'épaisseur. La densité de stockage atteinte avec ces matériaux est donc très élevée (1,4 kW/kg).



# LE TRIPLET DE PHOTON

Des chercheurs de l'Institut NEEL ont réussi à briser 10<sup>13</sup> photons (dix mille milliards) en trois, en faisant se propager une impulsion laser verte de 10<sup>-11</sup> secondes (cent milliardième) dans un cristal minéral synthétique très pur. Les photons issus de cette scission sont invisibles à l'œil nu car leur longueur d'onde associée est dans l'infrarouge. Les trois photons d'un même triplet sont Des chercheurs de l'Institut NEEL ont mis issus du même photon "parent", de sorte qu'ils présentent des propriétés particulières appelées corrélations, qui sont de nature tant classique que quantique.

> L'étude de ce nouvel état de la lumière viendra nourrir la physique quantique, mais on lui prédit également un avenir brillant pour la sécurisation des lignes de télécommunication par fibres optiques ou pour la conception d'ordinateurs quantiques surpuissants.

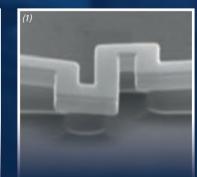
# **DES PHONONS BLOOUÉS** DANS UN NANOFIL

Les phonons sont des petits paquets d'énergie vibrationnels, lorsqu'ils se propagent, ils donnent lieu à un transport d'énergie et donc transportent de la chaleur. À température ambiante, les phonons sont principalement diffusés par d'autres phonons, par des électrons ou des impuretés. En revanche, à très basse température, la longueur d'onde des phonons devient si grande que les surfaces se comportent comme un miroir pour eux.

En étudiant le transfert de chaleur à très basse température dans des nanofils de silicium (200nm), des chercheurs de l'Institut NEEL ont constaté qu'il est possible de bloquer le transfert de chaleur par l'introduction d'un serpentin dans un nanofil (Fig. 1). Les phonons sont alors bloqués au centre du nanofil, entre les deux serpentins.

Cette découverte peut être considérée comme un moyen très innovant pour améliorer les performances des composants thermoélectriques en créant des systèmes transmetteurs d'électrons mais bloqueurs





16 | neel.cnrs.fr neel.cnrs.fr | 17



# 12 films pour mieux comprendre...

Retrouvez les films sur neel.cnrs.fr/physiquarium

# LE SURF DE L'ÉLECTRON

Quiconque chercherait à traquer un électron dans un métal serait bien en peine : les électrons sont non seulement des particules indiscernables les unes des autres, mais ils ont tendance à se déplacer en groupe. Pourtant, c'est bien la traversée solitaire d'un électron dans un circuit électronique qu'ont réussi à observer et à maîtriser des physiciens de l'Institut NEEL à Grenoble. Pour débusquer le phénomène, les chercheurs ont fabriqué un dispositif expérimental à base de "boîtes quantiques", entre lesquelles un unique électron a littéralement surfé sur une onde sonore. Une première qui pourrait sonner le début de la téléportation du spin d'un électron et de l'ordinateur quantique.





# LA PUISSANCE DES SMES

**Superconducting Magnetic Energy Storage** 

Fournir une puissance de 100 mégawatts par kilo, soit l'équivalent de dix TGV lancés à pleine vitesse... mais pendant quelques millisecondes seulement : telle est la mission dévolue aux systèmes de stockage appelés SMES (superconducting magnetic energy storage). Leur principe est simple : l'énergie est stockée sous forme d'un champ magnétique généré par la circulation d'un courant électrique dans une bobine court-circuitée. Afin que cette énergie ne se dissipe pas, la bobine est réalisée en matériau supra-

Cependant, pour être opérationnel, le SMES doit être refroidi à environ 4 kelvins avec les supraconducteurs conventionnels. À Grenoble, l'Institut NEEL et le G2Elab conçoivent des SMES fonctionnant à une température de 20 kelvins, ce qui allège beaucoup le dispositif de refroidissement et améliore nettement les performances.

### LA CAMÉRA NIKA

Destinée au radiotélescope millimétrique de l'IRAM (Institut de Radi-Astronomie Millimétrique) à Pico Veleta (Espagne). cet instrument de nouvelle génération permet de réaliser des images du ciel avec une sensibilité exceptionnelle.

Les détecteurs cryogéniques (0,1 K) sont disposés comme les "pixels" des appareils photos numériques. La taille du télescope (30 m) et le nombre de détecteurs (≈ 4 000) permettent d'obtenir rapidement des images d'objets indétectables avec la lumière visible tels que des galaxies très éloignées ou des étoiles en formation dans les nuages moléculaires froids. Par sa haute résolution, c'est un instrument qui permet aux astrophysiciens d'étudier les nombreuses galaxies détectées par les missions spatiales comme Planck et Herschel.

# LE POUVOIR DES NEURONES

Les neurones sont des cellules très ramifiées dédiées au traitement et au transport de l'information électrique. De facon moins connue, les prolongements neuronaux ont des propriétés élastiques qui font des neurones des câbles électriques d'un genre tout à fait particulier.

issues de la micro-électronique, des chercheurs s'appuient sur les propriétés mécaniques des neurones pour contrôler leur croissance et former à la surface de lamelles de verre ou de composants en silicium des microcircuits neuronaux "à facon". Ces études enrichissent une vision biomécanique du neurone, et le développement à l'Institut NEEL de puces en silicium donnera bientôt aux scientifiques la possibilité de mesurer les propriétés électriques de microcircuits neuronaux in vitro.

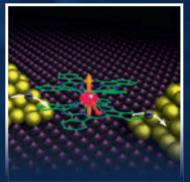


### LA DÉTECTION DE L'ORIENTATION **DE L'AIMANTATION DES NOYAUX ATOMIQUES**

Un atome c'est déjà petit, mais le noyau atomique est encore cent mille fois plus petit. Pour améliorer le traitement de l'information, il est proposé aujourd'hui de stocker les données sur l'orientation de l'aimantation des noyaux atomiques. C'est un véritable challenge que d'aller coder et lire l'information sur un objet si petit qui émet un signal magnétique À l'Institut NEEL, grâce à des techniques mille fois plus faible que celui des atomes. Et pourtant des chercheurs de l'Institut NEEL l'ont réalisé avec le novau d'un atome de terbium pris en sandwich entre deux molécules organiques de phtalocyanine. L'ensemble forme une molécule qui conduit le courant électrique, et comme les électrons sont sensibles au champ magnétique, le courant circulant à travers ce transistor à molécule unique dépend de l'état magnétique de l'ion terbium. Il suffit alors d'une simple mesure de courant électrique pour lire l'aimantation du noyau atomique.

## LES INCROYABLES PROPRIÉTÉS DU GRAPHÈNE

Le graphène est un plan de carbone atomiquement fin, stable à l'air et relativement manipulable et transférable sur tout autre matériau. Ce cristal à deux dimensions découvert en 2007 possède des propriétés optiques, thermiques, mécaniques et électroniques très originales que lui confère sa structure ultimement fine. À l'Institut NEEL. des chercheurs ont obtenu, en déposant des nanoparticules d'étain sur une feuille de graphène, un matériau hybride qui combine la supraconductivité de l'étain au caractère versatile du graphène : il est ainsi possible de le rendre soit supraconducteur, soit isolant par simple application d'un champ électrique transverse. Cette découverte pourrait aboutir à la création de nouveaux composants électroniques tels des détecteurs de particules ultrasensibles avec des propriétés de dissipation contrôlées.





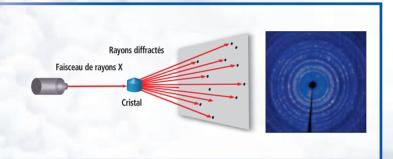
18 | neel.cnrs.fr neel.cnrs.fr | 19

# CRISTALLOGRAPHIE CRISTALLOGRAPHIE

PHYSI UARIUM ESPACE VISITEUR DE L'INSTITUT NÉEL

La cristallographie peut être définie comme la science qui se consacre à la connaissance structurale de la matière. Pour cela elle doit recourir à la diffraction qui nous permet de voir la position des atomes avec une précision inégalée.

# **EXPLICATIONS**



La diffraction donne un "code-barre" des matériaux.

# LA DIFFRACTION

Un cristal est un empilement périodique d'atomes.

Lorsqu'il est irradié par un faisceau (de rayons X, électrons ou neutrons), chaque atome du cristal diffuse une onde, qui se propage dans toutes les directions. Les ondes diffusées par les différents atomes interfèrent, faisant apparaître, sur un film photographique ou une image numérique, des taches caractéristiques de la structure du cristal.

# POUR EN SAVOIR PLUS

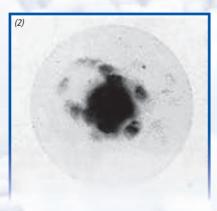
#### Rayon X ? vous avez dit X ?

Lors de la découverte des rayons X en 1895, W. C. Röntgen est persuadé que ces rayons présentent des analogies avec la lumière visible, mais malgré ses efforts il ne parvient pas à cerner leur nature. Lassé, il les baptise "Rayons X".

Radiographie, par Röntgen, de la main de sa femme (Fig.1).

C'est en voulant connaître ces rayons X que les premières expériences de diffraction par un cristal ont été réalisées en 1912 et 1913 par Laue et les Bragg. Ils ont tous reçu le prix Nobel de physique pour ces découvertes (Fig.2).





# **VOYAGER À L'INTERIEUR DU CRISTAL**

Afin de mieux comprendre les matériaux et leurs propriétés, les scientifiques cherchent à connaître leur structure. Pour cela, la diffraction est une technique extrêmement puissante, mais présente une contrainte importante : c'est plus facile si ces matériaux sont sous forme de cristaux. On arrive désormais à obtenir l'information de "l'architecture" de la matière avec des cristaux de plus en plus petits (des micro ou des nano-cristaux), mais aussi avec des matériaux désordonnés.

### POUR VOYAGER À L'INTÉRIEUR D'UN CRISTAL IL FAUT :

#### 1 - Utiliser une onde : rayons X, électrons ou neutrons

Il faut que cette lumière ait une longueur d'onde (correspondant à son énergie) qui soit proche des distances entre les plans atomiques.

#### 2 - Déterminer la maille et la symétrie du matériau

À partir de la position de la tache de diffraction, la loi de Bragg  $\lambda$ =2dsin $\theta$  permet de déterminer la maille de répétition du matériau.

#### 3 - Mesurer les intensités des raies de diffraction

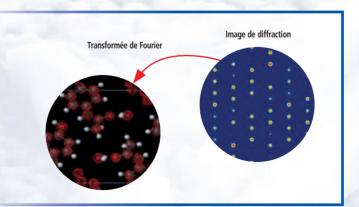
Ce sont les intensités et les phases de cette diffraction qui donnent une information pour déterminer la position des atomes (le motif) dans la maille du cristal ; cela se fait grâce à l'utilisation de la transformée de Fourier.

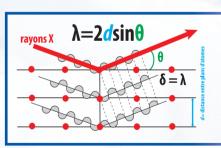
# 4 - Retrouver la phase des raies pour déterminer la structure du matériau

Les chercheurs retrouvent cette phase par différents moyens mathématiques ou instrumentaux.

#### 5 - Combiner différentes sondes structurales

Pour accéder à toute la compléxité du matériau, il faut parfois combiner les points forts de plusieurs sondes: électrons, rayons X, peutrons





Lors d'une expérience de diffraction des rayons X, chaque atome diffuse une onde sinusoïdale. La somme des sinusoïde donne une transformée de Fourier du matériau.

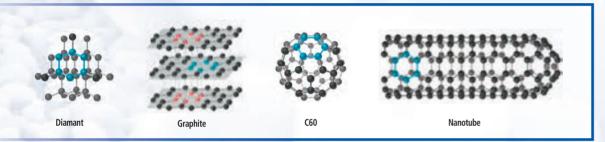
Il suffit de calculer la transformée de Fournier de la diffraction pour retrouver les positions des atomes !

# CRISTALLOGRAPHIE



# MAIS CONCRÈTEMENT ÇA SERT À QUOI ?

La connaissance précise des arrangements atomiques permet de comprendre et d'optimiser les propriétés. Ce savoir, ainsi que l'amélioration des méthodes de synthèse, **permet de réaliser de nouveaux matériaux** aux propriétés meilleures.



Les propriétés des matériaux sont très dépendantes de leur structure : Comment expliquer les différences entre le diamant, le graphite, le C60, les nanotubes et le graphène? Tous sont faits de carbone, mais leurs arrangements atomiques sont différents.

# EN CHIMIE DU SOLIDE

la création de nouveaux matériaux est facilitée par la connaissance de leur structure. Leurs propriétés sont dépendantes d'une variation de leur structure.



### \_ EN MÉTALLURGIE

Les métaux et les alliages sont formés d'une multitude de cristaux. La maîtrise des défauts existant dans et entre les cristaux est au cœur des performances de la métallurgie.



# EN MICRO-ÉLECTRONIQUE

La plupart des composants électroniques, couramment présents dans notre vie quotidienne, sont réalisés à base de cristaux semi-conducteurs quasi parfaits.



# **EN PHARMACIE**

Les médicaments se présentent souvent à l'état de poudre solide. La molécule active qui agit sur l'organisme se trouve au sein d'un mélange complexe. Il faut contrôler avec exactitude tous ces ingrédients et toutes leurs formes cristallines.



### **EN ARCHÉOLOGIE**

Les objets retrouvés dans des contextes funéraires sont souvent constitués d'assemblages de cristaux. Ils peuvent être, pour ceux qui savent les lire, de véritables archives.



# EN MAGNÉTISME

De la même façon que les rayons X permettent de voir l'ordre des atomes, les neutrons permettent de voir l'ordre magnétique, car les neutrons sont eux-mêmes des minuscules boussoles : ils possèdent un moment magnétique.



#### **JOUER AVEC LA LUMIÈRE**

Les cristaux peuvent l'absorber, la produire, ou même changer sa couleur.



# TYSTULANTUM

PHYSIQUARIUM, c'est l'espace visiteur de l'Institut NEEL. Il a été conçu pour un public varié afin de rendre accessible les études de notre laboratoire de recherche en physique par une présentation pédagogique et historique, de mettre en valeur les travaux actuellement effectués au sein de notre laboratoire et de fournir un espace de présentation d'expérience de vulgarisation. PHYSIQUARIUM, c'est la porte d'entrée vers les recherches menées aujourd'hui sur plus de 18000 m<sup>2</sup> par 500 chercheurs, enseignants, ingénieurs et techniciens.

Pour comprendre la science d'hier, d'aujourd'hui, et entrevoir celle de demain, retrouvez PHYSIOUARIUM sur internet au cœur du site de notre laboratoire...



Espace visiteur de l'Institut NEEL

www.neel.cnrs.fr/physiquarium



