

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 128 (2002)
Heft: 13: Électromagnétisme

Artikel: Le rayonnement électromagnétique poussé à ses limites
Autor: Kaestli, François
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80290>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le rayonnement électromagnétique poussé à ses limites

PHYSIQUE

Ouvrant la porte à de nombreuses expériences en physique atomique, sciences de la vie ou médecine, une nouvelle source de rayonnement a été inaugurée l'année dernière au Paul Scherrer Institut (PSI) de Villigen, une des cinq institutions fédérales de recherche. Avec ce nouvel outil, les détails les plus infimes de la matière seront analysés, ses propriétés les plus subtiles explorées. Le PSI renforce ainsi considérablement ses capacités de recherche et de formation et acquiert une position internationale enviée.

La naissance mouvementée d'un projet

L'idée d'une source synchrotron a plus de douze ans. Il fallait une vision prospective et tenace, associée à l'appui de personnalités influentes pour concevoir et faire accepter ce projet d'envergure en recherche fondamentale dans la Suisse des années 90. Pourtant, à l'époque déjà, les scientifiques suisses n'obtenaient pas suffisamment de temps de faisceau pour leurs mesures auprès de l'Installation européenne de rayonnement synchrotron située à Grenoble et de diverses sources

étrangères. Après une phase critique, le projet suisse fut amélioré et le principe de son financement par la Confédération - dans le cadre du budget des EPF et institutions annexes - accepté. Ainsi redéfini, il fut finalement reconnu intéressant et obtint l'aval des milieux politiques et scientifiques en 1994.

Huit ans plus tard, les ambitions affichées par la source de lumière synchrotron (SLS) installée à Villigen (fig. 1) concordent parfaitement avec les orientations actuellement prises dans le domaine des EPF. La qualité énergétique du faisceau et son intensité lumineuse en font un outil crucial au service des sciences du vivant et des nanotechnologies. Grâce à la finesse de l'image, tant spatiale que temporelle (on parle d'événements observables à l'échelle de 10^{-12} seconde), c'est non seulement la structure mais aussi les fonctions moléculaires qui peuvent être observées.

Au PSI, cette installation coïncide avec une réorganisation profonde des axes de recherche. Les domaines de l'énergie nucléaire et de la physique des particules cèdent progressivement la place aux sciences de la vie, des matériaux, à la physique du solide et à une recherche plus orientée sur l'énergie en général. Désormais, le PSI propose aux instituts universitaires et aux entreprises une palette d'installations complexes. La source de lumière synchrotron se combine à celle de neutrons et de muons, ainsi qu'à d'autres outils dédiés à l'analyse de structures nanoscopiques. Ces infrastructures coûteuses, dont l'exploitation dépasse les moyens d'une institution universitaire, permettent à la Suisse de se positionner avantageusement dans la recherche internationale.

Des rayons X mous aux rayons durs

D'entrée de jeu, en choisissant d'accéder à la gamme des rayons X durs, la SLS s'est dotée d'une source de lumière plus performante que les sources nationales existantes, dont l'énergie est plus basse. Avec un coût d'installation qui croît proportionnellement au cube des énergies produites, la plupart des synchrotrons à rayons X durs existants sont l'apanage de centres internationaux: l'installation européenne de rayonnement synchrotron de 6 GeV en France, la source de photons avancés de 7 GeV aux Etats-Unis et le Spring-8 de

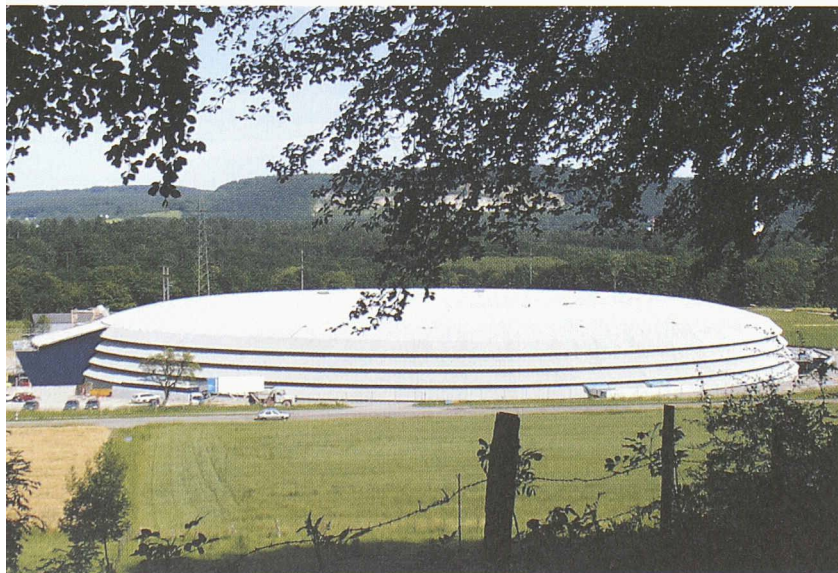


Fig. 1 : Le complexe circulaire qui abrite la nouvelle source de lumière du Paul Scherrer Institut à Villigen

Fig. 2 : Domaines d'application du rayonnement synchrotron
(Documents: PSI)

8 GeV au Japon. D'autres équipements européens sont projetés, dont les performances ont été dûment définies en complémentarité avec la SLS: il s'agit de *Soleil* pour la France et *Diamond* pour l'Angleterre, tous deux fonctionnant à hautes énergies (rayons X très durs). Au niveau européen, non seulement les chercheurs bénéficient d'un accès réciproque aux différentes sources de rayonnement, mais ils peuvent installer leurs propres lignes de faisceau dans les centres étrangers, à la seule condition que leurs résultats de recherche soient accessibles à tous.

D'une brillance et d'une cohérence remarquable, la source helvétique se caractérise par des performances optimales dans le domaine de l'extrême ultraviolet et des rayons X mous. La lumière fournie affiche simultanément une forte intensité et une concentration élevée du faisceau dans une direction. En se dotant d'une source de lumière de troisième génération, la Suisse s'ouvre des portes supplémentaires sur la recherche européenne et renforce sa collaboration internationale. C'est d'ailleurs le professeur Giorgio Marga-

ritondo, doyen de la faculté des sciences de base à l'EPFL et ardent militant de cette installation dès le départ, qui préside la Table Ronde européenne pour le rayonnement synchrotron et assure la coordination des douze sources européennes mises à disposition des scientifiques pour des projets menés dans le cadre d'une coopération internationale.

La lumière synchrotron: un rayonnement parasite!

A l'origine, la lumière synchrotron est un phénomène indésirable qui se produit lorsque des particules chargées sont accélérées en présence d'un champ magnétique. Désormais maîtrisée et canalisée, cette source possède deux qualités appréciables: une grande largeur de spectre (de l'infrarouge aux rayonnements X) et une cohérence de lumière qui la rapproche de ce puissant outil qu'est le laser. La large bande énergétique de la SLS équivaut à une batterie de scalpels de la matière, dont la précision augmente avec l'énergie (fig. 2).

2

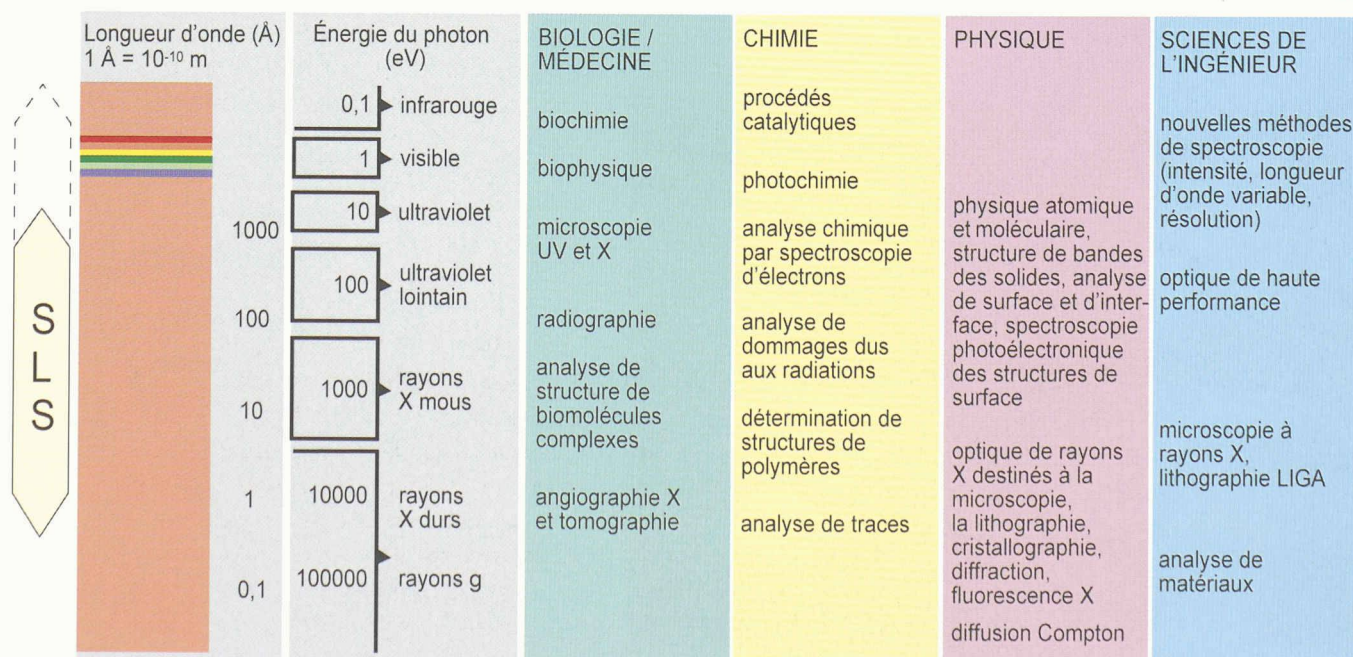


Fig. 3 : La source de lumière synchrotron : à droite, l'accélérateur principal, à gauche, l'anneau de stockage

Fig. 4 : Plan de l'installation SLS avec le pré-accelérateur LINAC, l'accélérateur principal et l'anneau de stockage. Les lignes de faisceaux, à disposition lors de la mise en service de la SLS sont en vert

Fig. 5 : La qualité de la lumière synchrotron émise diffère selon le dispositif magnétique qui les canalise. Dans les aimants de déflexion, les électrons se déplacent selon une trajectoire circulaire ; dans les wigglers et les onduleurs, ils optent pour une trajectoire sinusoïdale

(Documents: PSI)

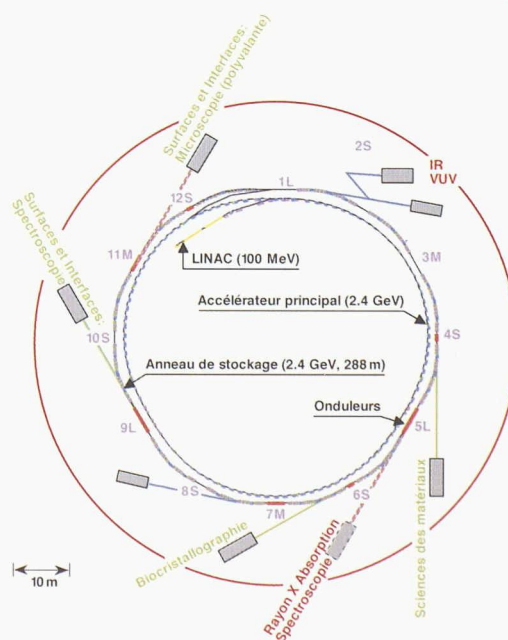
3



Le synchrotron du PSI

La première tâche de la machine consiste à produire des électrons, en quantité relativement faible, puis à les mettre en mouvement. Tout d'abord, un accélérateur linéaire transfère à ces particules une énergie de 100 MeV (100 mégaelectronvolts), avant qu'elles ne passent dans un pré-accelérateur circulaire qui amplifie cette énergie jusqu'à 2,4 GeV. Grâce à des aimants, les électrons sont ensuite déviés dans un anneau de stockage, plus proche du polygone que du cercle, de 288 mètres de diamètre, où ils poursuivent leur course folle à des vitesses approchant celle de la lumière (fig. 3). A plus d'un million de tours par seconde, dans un tube de quelques centimètres de diamètre, ils maintiennent une position constante au millième de millimètre près et, dans les courbes, produisent le rayonnement synchrotron désiré. On y installe alors les lignes de lumière, où l'on sélectionne

4



Place à la formation

Quelque deux cents quarante étudiants travaillent à leur doctorat sur les installations du PSI. Qu'ils soient intégrés à des groupes de recherche internes ou rattachés à d'autres universités, leur présence intensifie les contacts nationaux et internationaux de l'institut. Septante pour cent viennent des Ecoles polytechniques, vingt-deux pour cent des autres universités suisses et le reste de l'étranger. La physique, la chimie et les sciences de l'ingénieur constituent les formations de base privilégiées par ces étudiants.

Parmi les offres de cours spécialement mises sur pied pour ces doctorants, une formation en bio-informatique qui vise à combler les lacunes en termes de connaissances pratiques liées à une science au développement fulgurant. Au carrefour de la biologie moléculaire, de la biochimie et de la génétique d'un côté, des sciences informatiques et du langage artificiel de l'autre, la bio-informatique est devenue une réponse incontournable à l'ampleur des données en jeu et ses applications incluent notamment le diagnostic de maladies, la conception de nouveaux tissus biologiques et la mise au point de médicaments.

L'école d'automne du PSI est ouverte aux étudiants des HES en passe d'obtenir leur diplôme. Le thème de réflexion retenu l'année dernière portait sur les moyens qu'offrent la recherche et la technologie pour contribuer au développement durable. Et pour donner de nouvelles impulsions aux enseignants de physique et de chimie des HES, les professeurs ont été encouragés à faire un stage au PSI, expérience qui s'est révélée très fructueuse et devrait être renouvelée à l'avenir. Quant à la formation des apprentis, elle est aussi pleinement intégrée au programme.

une énergie donnée en fonction des expériences planifiées (fig. 4). A la faveur de dispositifs magnétiques - déflecteurs, «wiggler» ou onduleurs - insérés sur la ligne, la brillance et la cohérence du signal sont augmentées (fig. 5).

L'agencement d'une série d'aimants de polarité opposée force en effet les particules dans un mouvement sinusoïdal. Plus l'énergie du faisceau est élevée, plus la longueur d'onde de la lumière dévolue à l'observation est courte; or plus cette dernière diminue, plus la finesse d'observation de la matière augmente.

La souplesse d'utilisation de la machine suisse est excellente. La SLS se comporte soit comme un microscope capable de voir des éléments de taille atomique (jusqu'à trois centièmes de nanomètre), soit comme un appareil à rayons X capable de traverser la matière. En faisant appel à ces derniers - les rayons X mous et les UV - on accède à l'étude des propriétés électroniques et magnétiques de surfaces et d'interfaces. L'on peut notamment ajuster l'énergie du rayonnement X de façon à faire ressortir un élément chimique en particulier et établir la cartographie chimique d'une surface. Dans ce mode de fonctionnement, la SLS permet de voir à travers les objets et d'observer par exemple la structure de protéines. Phase pratiquement obligée de l'analyse des protéines, ce type de visualisation est une priorité pour les chercheurs du PSI, qui entendent y jouer un rôle de premier plan.

Domaines d'application

Les domaines d'application sont légion: médecine, chimie, cristallographie, biotechnologie. L'université de Zurich et l'EPFZ se proposent par exemple d'utiliser la SLS pour obtenir des radiographies de meilleure qualité dans leur étude de

5

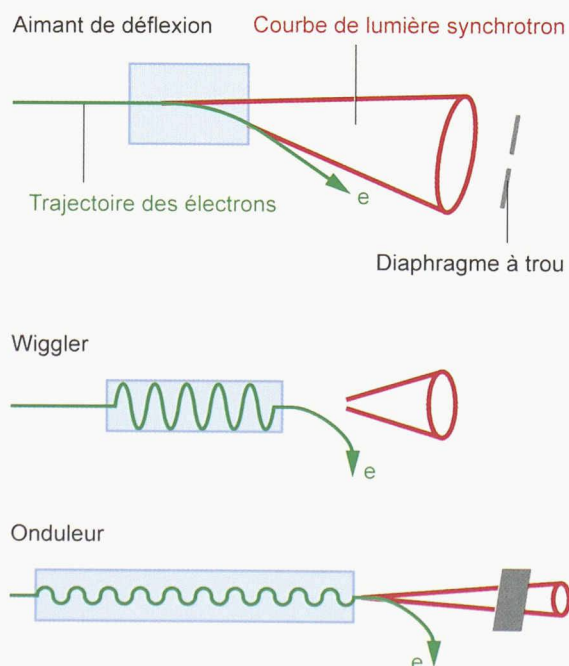


Fig. 6 : Etude de l'ostéoporose. Cette microtomographie tridimensionnelle réalisée par rayonnement synchrotron montre les différents états d'une décalcification osseuse. (Document: U. Bonse et al., Université de Dortmund et PSI)

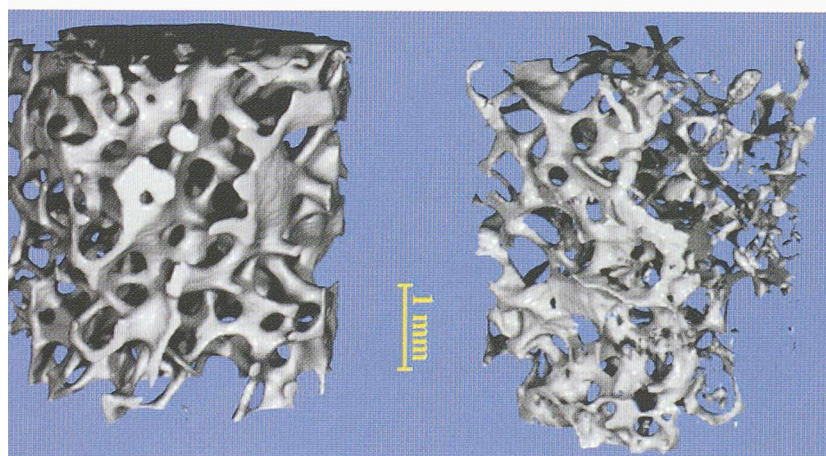
Fig. 7 & 8 : Images radiologiques obtenues avec les rayons X cohérents d'une source de rayonnement synchrotron. La cohérence permet de mettre en évidence des détails microscopiques tout en limitant la dose de radiation. A gauche, image détaillée de la tête d'une mouche; à droite, microvaisseaux dans la patte d'un insecte (Documents: EPFL, G. Margaritondo)

Fig. 9 : Les matériaux à basse dimensionalité sont susceptibles d'instabilité qui détruisent l'état métallique. Une mesure de photoémission montre à gauche le sommet de la bande de conduction du métal et à droite l'ouverture d'une brèche énergétique synonyme de transition vers un état isolant.

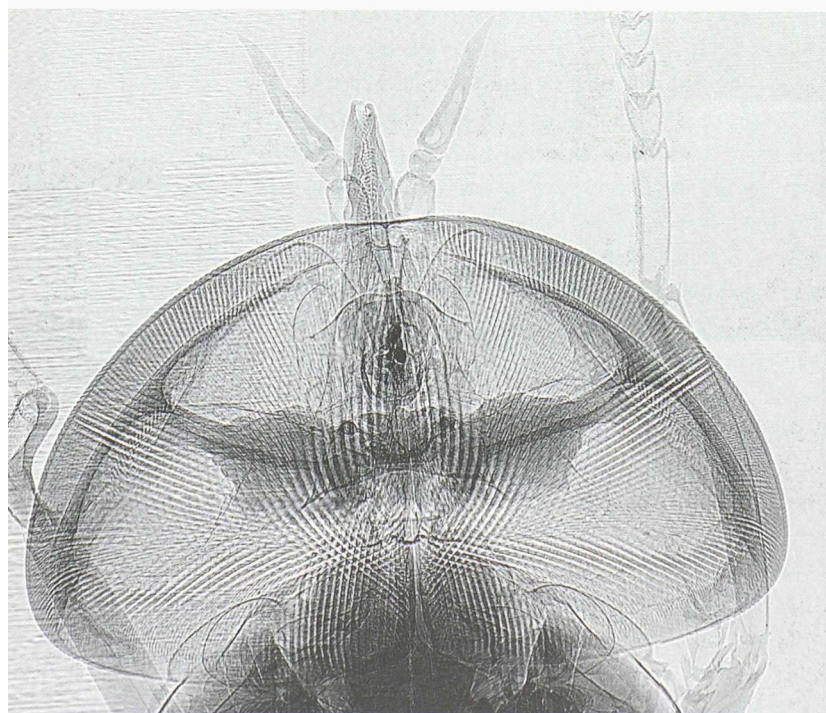
(Document: EPFL, Institut de physique des nanostructures, M. Grioni)

Fig. 10 : Spectroscopie de photoélectrons permettant de visualiser les énergies et les vitesses des électrons à l'intérieur d'un solide. A partir de cette information, il est possible d'interpréter les propriétés optiques, thermodynamiques et de mobilité du matériau. (Document: EPFL, Institut de physique des nanostructures, M. Grioni)

6



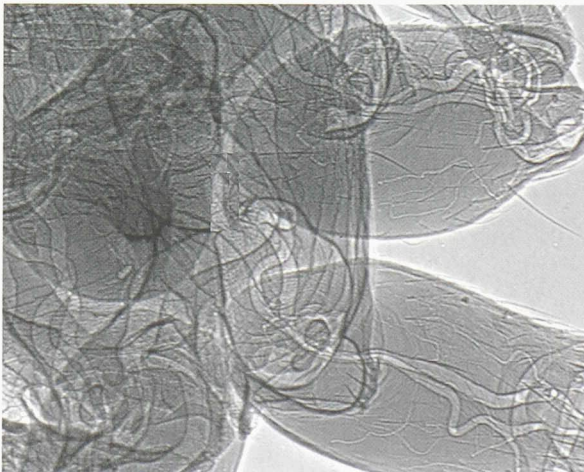
7



l'ostéoporose (fig. 6). Le groupe de cristallographie moléculaire de l'EPFZ est particulièrement intéressé à disposer, proche de ses laboratoires, d'une telle machine qui lui permet de mettre en évidence la structure atomique du chromosome et d'essayer de lever un voile sur les processus fondamentaux de la vie. Quant à l'industrie chimique, elle est un utilisateur particulièrement exigeant de la SLS: en privilégiant la résolution temporelle, dont la mise au point est encore à venir, elle espère saisir les réactions sur le vif afin d'élucider les fonctions des protéines.

A l'EPFL, on s'intéresse surtout à la spectromicroscopie pour analyser les propriétés électroniques de matériaux composés (voir encadré) et à la radiologie avec des rayons X cohérents. En optimisant l'utilisation des nouvelles sources de rayonnement synchrotron, on obtient en effet des images radiologiques de haute qualité (fig. 7 et 8) sans augmenter l'irradiation, un atout qui devrait logiquement déboucher sur des applications intéressantes en médecine aussi.

8



Engage spectromètre pour traquer électrons

Sur les cinq lignes déjà en fonction, l'une est consacrée au domaine en forte expansion de la biocristallographie, notamment la cristallographie de protéines qui intéresse de nombreux chercheurs, alors que deux

autres lignes dédiées à des domaines plus traditionnels comme les sciences des matériaux ou l'analyse de surface, y trouvent un nouvel essor grâce à la qualité du rayonnement synchrotron proposé à Villigen. Une lumière brillante, à la fois focalisée sur un faible diamètre et de grande intensité, y est fournie. « Cette source s'étend de l'infrarouge aux rayons X durs, soit, en termes de définition spatiale, du micron à quelques centièmes de nanomètres », explique Marco Grioni, chercheur de l'EPFL. Pour ce scientifique, familier des sources synchrotron autour de la planète, explorer les propriétés des électrons piégés dans la matière est indispensable pour l'avancement de la

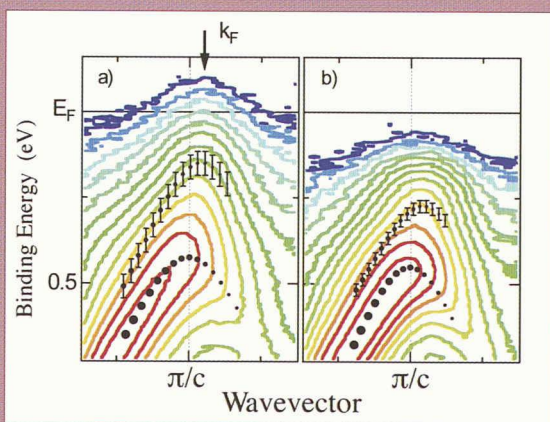
compréhension des phénomènes apparus récemment dans certains composés, métalliques notamment. Que l'on évoque les supraconducteurs à haute température, étudiés depuis plus de quinze ans, les alliages témoignant d'une magnéto-résistance géante ou, encore, les matériaux à basse dimensionnalité, la responsabilité de comportements inattendus est invariablement à chercher du côté des électrons. En leur infli-

geant des contraintes supplémentaires, en réduisant par exemple la liberté de déplacement de ces particules chargées à deux, voire une seule dimension (dans les nanotubes de carbone par exemple), il est

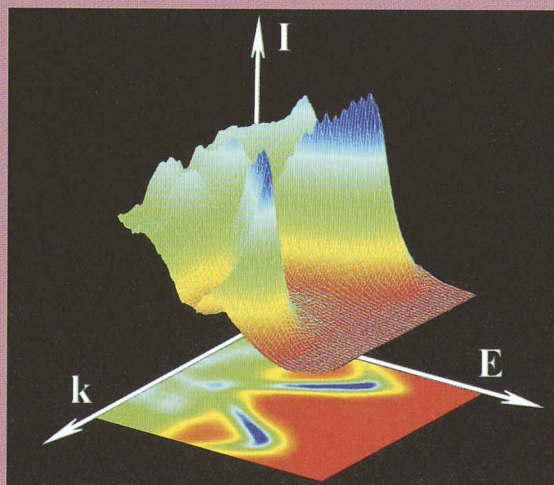
possible de faire apparaître de nouvelles propriétés physiques. Ces propriétés « exotiques » pourraient influencer considérablement le comportement des composants de la future « nanoélectronique ».

Pour cerner ces comportements, Marco Grioni a participé à la définition d'une ligne de spectroscopie du PSI à très haute résolution énergétique dans le domaine des UV et des rayons X mous (10-1000 eV). Son but est d'éjecter des électrons du matériau observé afin d'en déterminer précisément l'énergie et la direction de propagation, ce qui facilite la compréhension des propriétés du solide (fig. 9 et 10). Ses échantillons proviennent de l'EPFL, où Helmuth Berger s'occu-

9

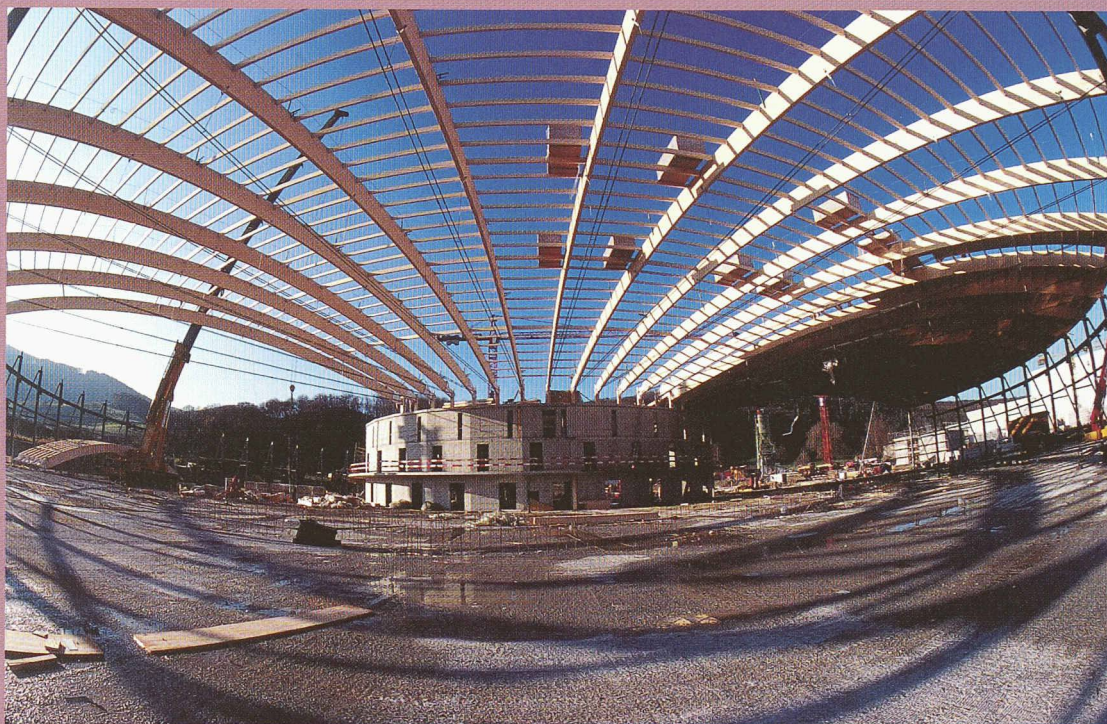


10



pe de la croissance de cristaux, ainsi que d'autres groupes de recherche à travers le monde. Marco Grioni collabore également avec des théoriciens pour l'interprétation de nouveaux modèles. « La Suisse, reconnaît-il, a une longue et solide tradition en spectroscopie de matériaux corrélés. » L'EPFL devrait, à l'avenir, tirer davantage profit de cette puissante machine mise à disposition par le PSI.

Fig. 11 & 12 : Etapes de construction mettant en évidence la structure en bois
(Photos: PSI)



La SLS est abritée par un bâtiment en bois¹

La structure accueillant l'installation SLS a été conçue pour minimiser les quantités de matériaux (bois, béton et acier) mis en œuvre. Faisant principalement appel au bois, le bâtiment présente un diamètre extérieur de 138 mètres pour une hauteur de 14, et sa forme ronde épouse celle de l'accélérateur de particules qu'il abrite. La disposition radiale de la structure primaire comporte soixante arcs lamellés-collés d'une portée de 43 mètres; le système secondaire est assuré par des pannes-chevrons placées tangentiellement, tandis que la façade est constituée de panneaux disposés en écailles. Placées entre ces derniers, les fenêtres assurent un éclairage indirect.

Les éléments du système choisi ayant largement pu être produits en préfabrication, les travaux de montage s'en sont trouvés facilités. Quant à la production du faisceau de lumière, elle fait appel à 600 aimants et 600 m de tubes à vide pour 4 MW utilisés.

¹ Voir aussi *Bulletin Bois* 54/2000, p.847-851, édité par Lignum

