



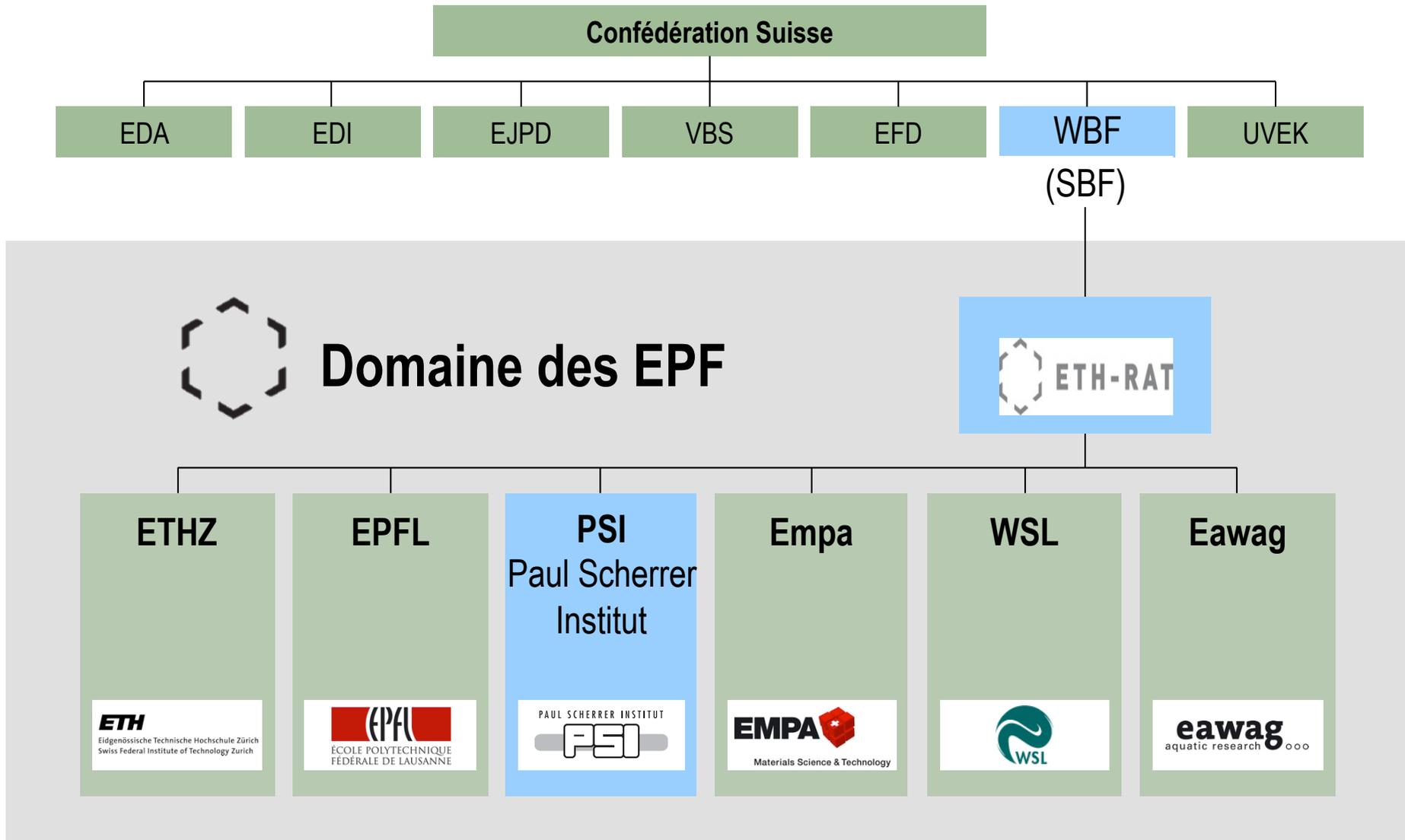
Wir schaffen Wissen – heute für morgen

Paul Scherrer Institut

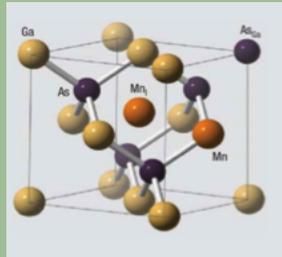
Dr. Aline Cossy-Gantner (Cossgan)

**Pensons au synchrotron et à ses performantes analyses
pour faire avancer nos projets en micro- et nanotechnologie**

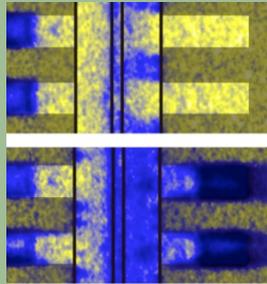
Le PSI fait partie du domaine des EPFs



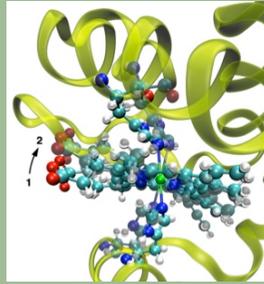
Science des Matériaux



Energie et Environnement



Life Sciences



Développement Construction et Opération



Grandes installations de recherche

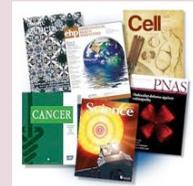


National et International

Utilisateurs académiciens et industriels

plus de 2100 utilisateurs externes par ans (38 faisceaux)

Science et Expertise



Enseignement



Transfert de technologie



Idéal pour: Physique du solide, Matériaux dits “moux”, Chimie, Biologie, Science des matériaux....



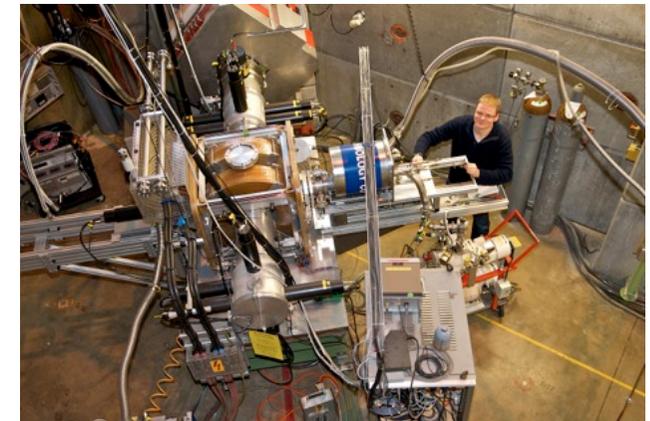
SLS: Synchrotron rayons X

- Synchrotron de 3ème génération
- Energie des électrons: 2.4 GeV
- En fonction depuis 2001
- Faisceaux: 18



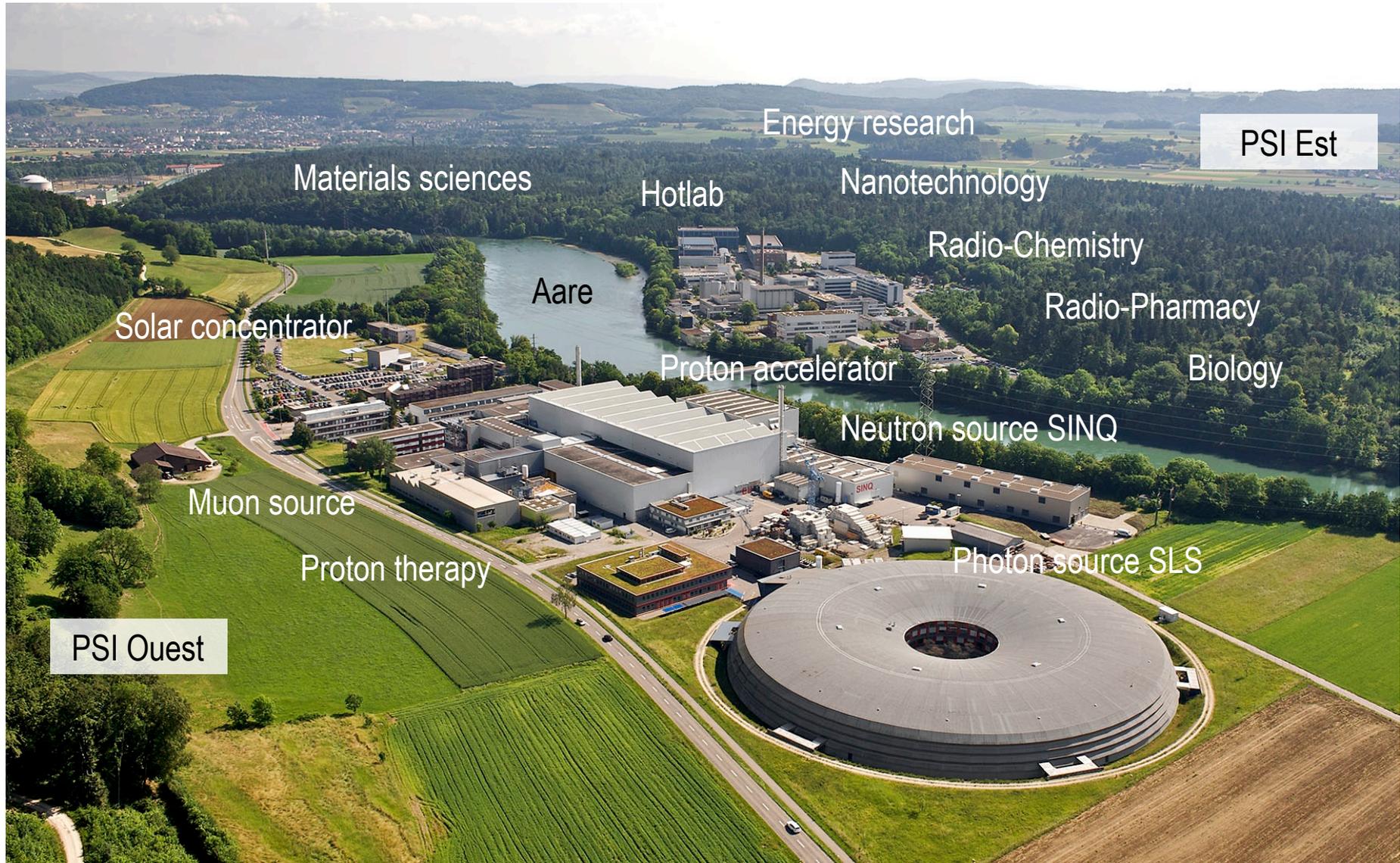
SINQ: Neutrons froids et thermiques

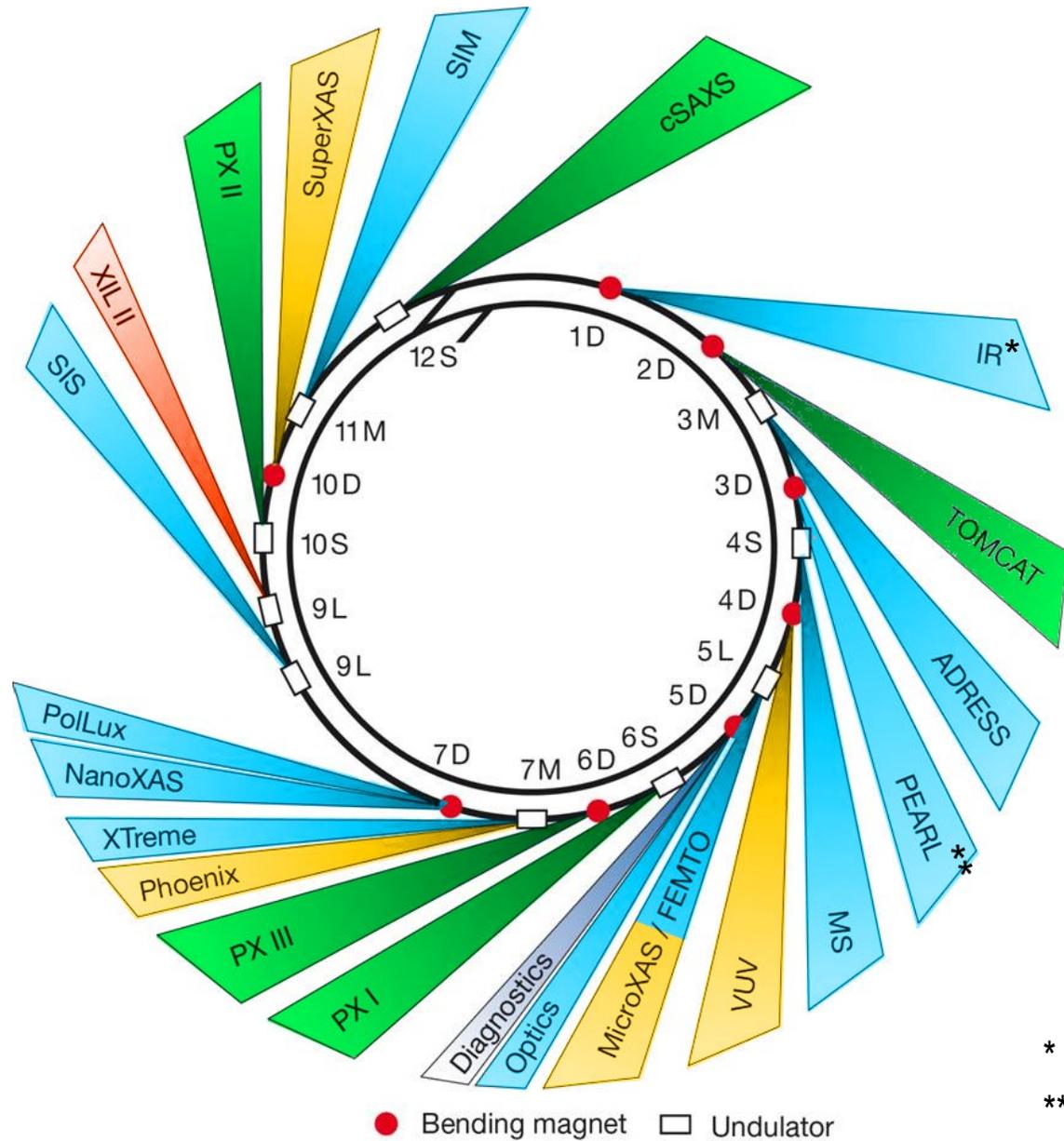
- Source à spallation
- Flux thermique $1.1 \cdot 10^{14}$ n/cm²/s
- En fonction depuis 1998
- Instruments: 19



SmS: Source de muons μ -SR

- Source de muons la plus intensive au monde
- En fonction depuis 1974/1989
- Instruments: 5





- LMN
- LSB
- LSC
- LSK

- Salle blanche
- Lab. science surfaces
- SEM
- Lab. des détecteurs
- Lab. Des appareils d'insert.
- Lab. d'optique
- Lab. de chimie
- Instal. de cristallisation

...

* Not in user operation

** Starting with expert users

Comparaison de brillance tube versus synchrotron

1



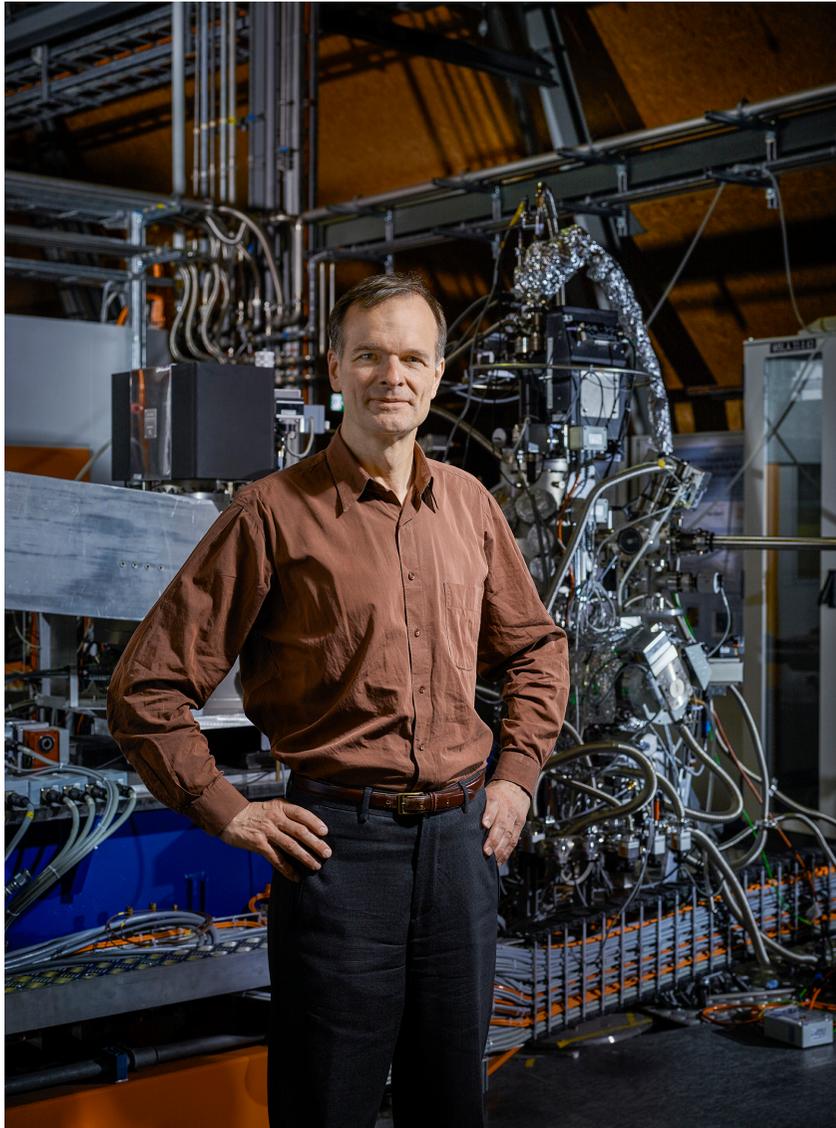
Tube à rayons X

Brillance

$>10^{12}$



SLS: Source suisse de lumière synchrotron



Le PSI est le plus gros centre de recherche en suisse pour les sciences naturelles et de l'ingénieur.

Prof. Gabriel Aeppli, Directeur du SLS

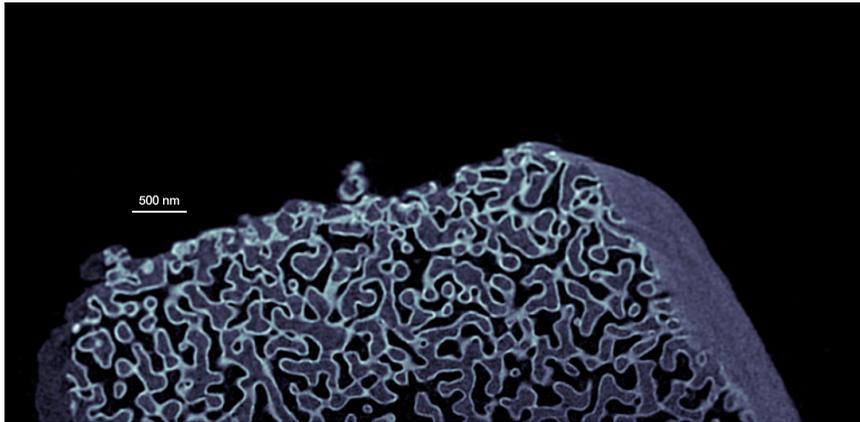


La source SLS est un gros microscope à disposition des entreprises qui utilisent ses faisceaux très ponctuels de rayons X et UV pour résoudre des questions dans les secteurs suivants:



- Médecine
- Alimentaire
- Chimie
- Energie
- Sciences de l'environnement
- ...





Section d'un verre nano-poreux: Air (noir), Verre (gris), mince couche de Ta₂O₅ (blanc)

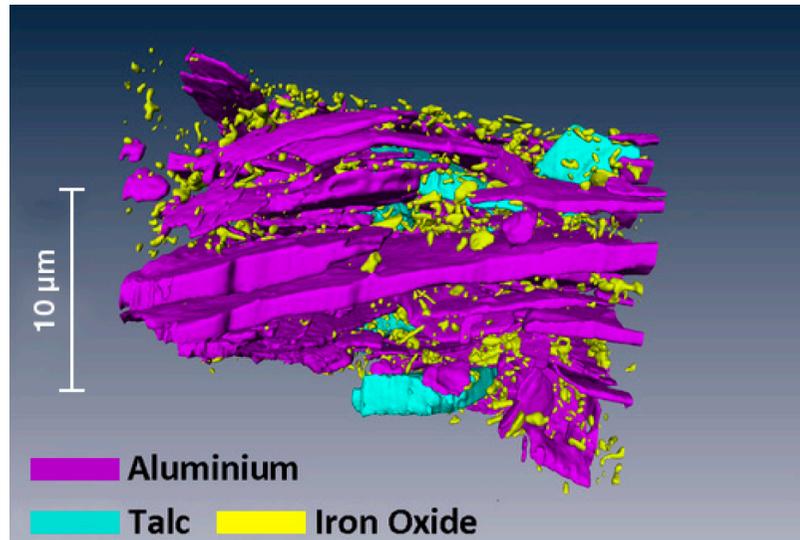
Nano structure de verre poreux ?

- Le synchrotron ouvre de nouvelles perspectives de microscopie atteignant des résolutions au-delà de ce qui est possible avec des techniques du laboratoire en microscopie électronique et de rayon X.
- Répartition des pores et structure identifiable avec une résolution de 16 nm dans les trois directions.



Application:

- Le verre poreux est utilisé pour calibrer les porosimètres à mercure à haute pression.



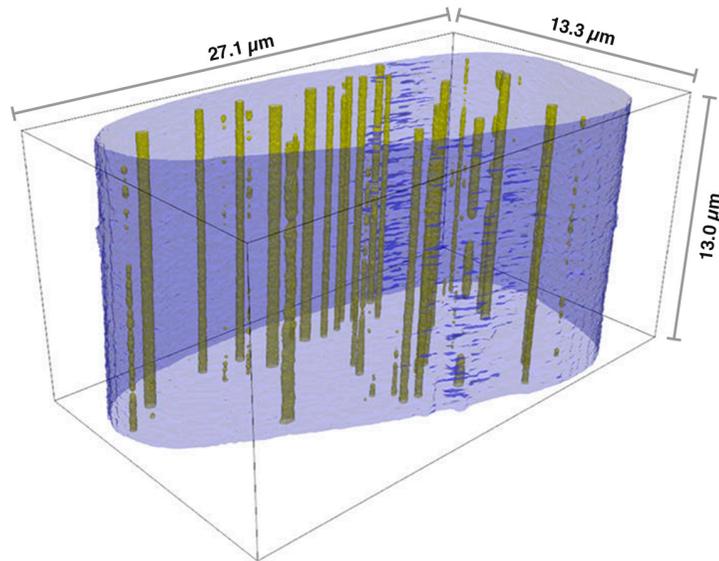
Liens entre propriétés de la peinture et sa nano-structure ?

- Nouvelle approche fût développée pour les modéliser les propriétés mécaniques et les processus électrochimiques.
- Les scientifiques du Centre for Nanotechnology, du University College à Londres et de AkzoNobel parvinrent à accélérer le développement du produit grâce au mesures prises au SLS.



Application:

- Afin de protéger l'acier contre l'agressivité corrosive de l'eau de mer on utilise une couche de résine époxy enrichie de flocons d'aluminium.
- Il fût possible de découvrir le lien entre la structure de la couche et ses propriétés.



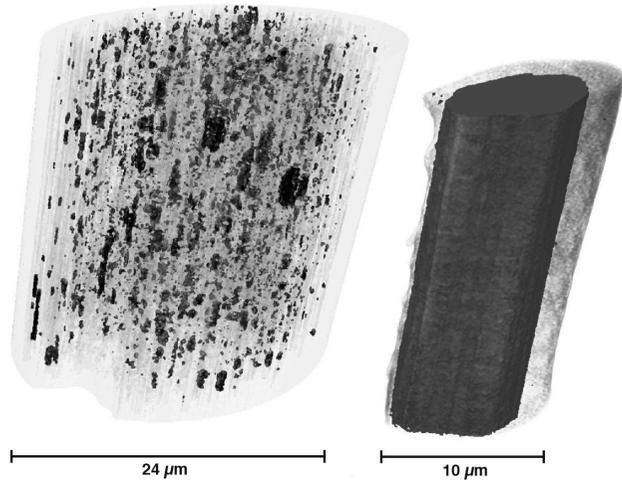
Comment les fibres de soie absorbent l'eau ?

- Les molécules d'eau interagissent avec les protéines de la soie au lieu de remplir les nanopores.
- Les pores ne se remplissent pas d'eau lorsque la fibre de soie est mouillée.



Application:

- Images 3D de l'intérieur des fibres de soie sèches et mouillées indiquent une anisotropie de leur gonflement



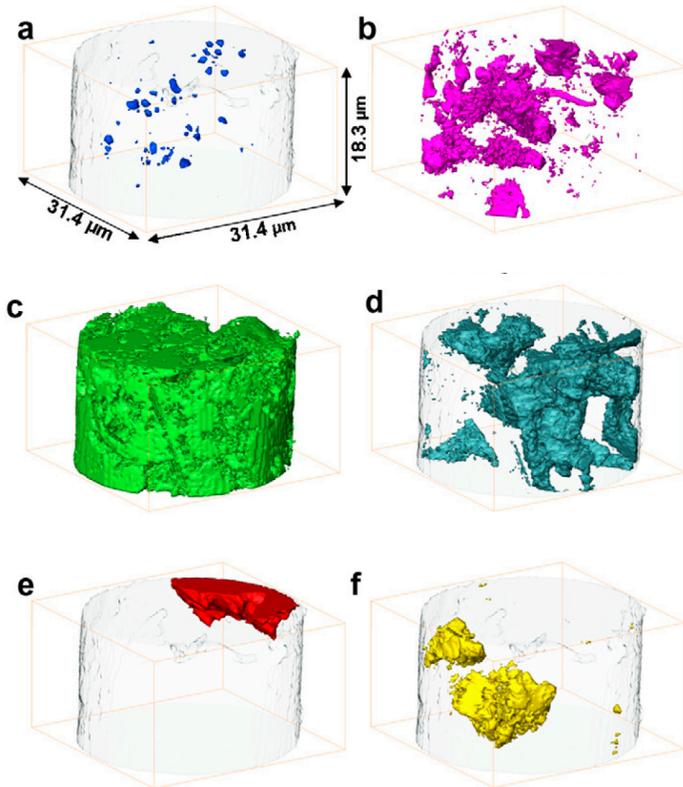
Relation entre la résistance mécanique et la nanostructure des fibres de carbone

- Grâce aux cartes 3D de densité de masse il est possible de visualiser à 100 nm de résolution la porosité et la répartition spatiale de la graphitisation.
- Centre de Recherche et Développement Honda Europe (Allemagne)



Application:

- Le processus traditionnel de production de fibres de carbone utilisant pour précurseur du polyacryl est onéreux. De nouveaux précurseurs biologique à base de lignine végétale sont en voie de développement.
- Honda cherche à comprendre le rapport entre les propriétés mécaniques des fibres et leur traitement à haute température, la graphitisation, la porosité et leur densité.



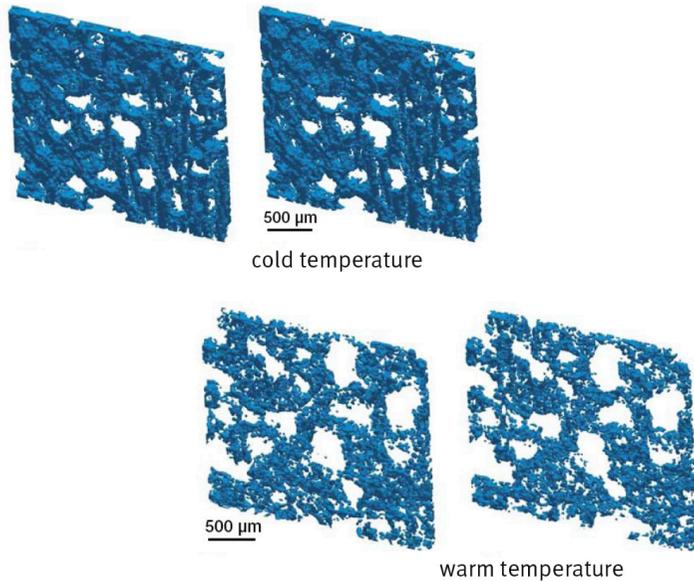
- Six phases minérales d'un échantillon de ciment de Portland:
- (a) pores non ou partiellement traités,
 - (b) pores traités à la résine d'époxy,
 - (c) autres Hydrates (principalement des hydrates de calcium-silicates imprégnés à la résine d'époxy)
 - (d) Hydroxyde de calcium,
 - (e) Carbonate de calcium,
 - (f) Restes de clinker déshydratés ou partiellement déshydratés

Quelle est la répartition des phase minérales dans du ciment durci ?

- La carte 3D den densité électronique montre à haute résolution les 6 phases minérales et leur composition chimique.

Application:

- La connaissance de la répartition spatiale des phases minérales dans le ciment durcit aide à modéliser l'évolution de sa résistance aux intempéries.



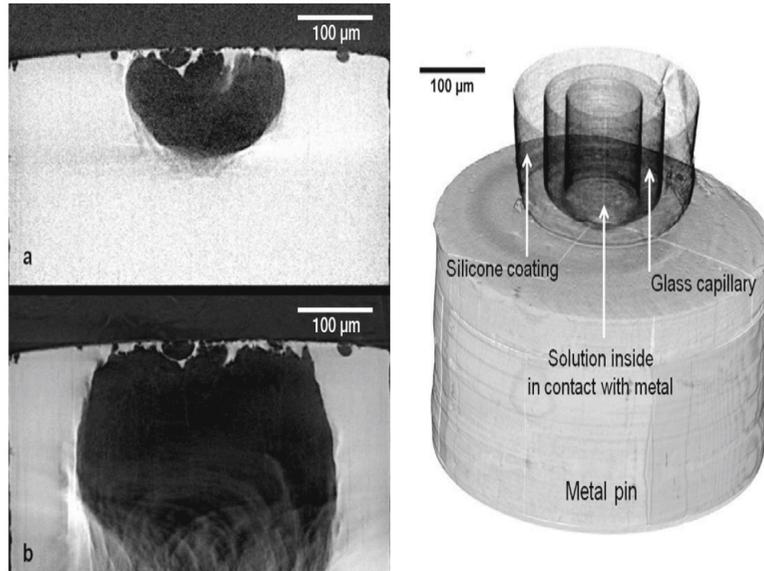
Comment se transforme la texture de la crème glacée en fonction des cycles de température ?

- Etudes in situ et en temps réel
- Une analyse non destructive en fonction du temps montra que la succession de refroidissements et de réchauffements rend les cristaux plus grossiers ainsi que les interstices entre eux.



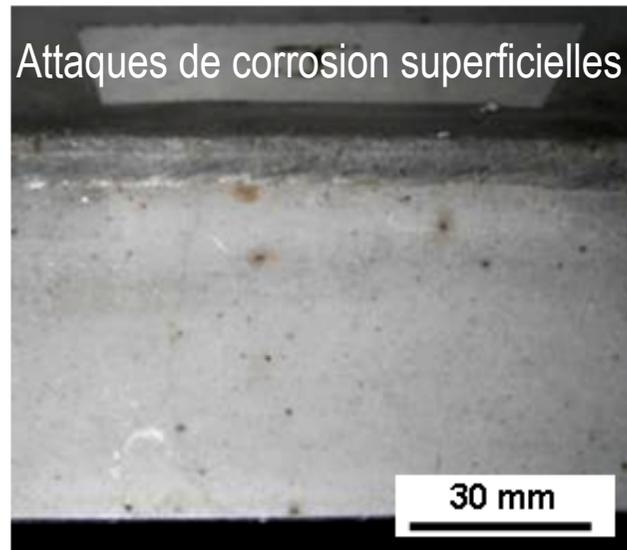
Application:

- Connaissance de la microstructure des aliments. Elle influence comment la nourriture est perçue par le consommateur.



Comment les chlorites influencent-ils la corrosion de l'acier inoxydable?

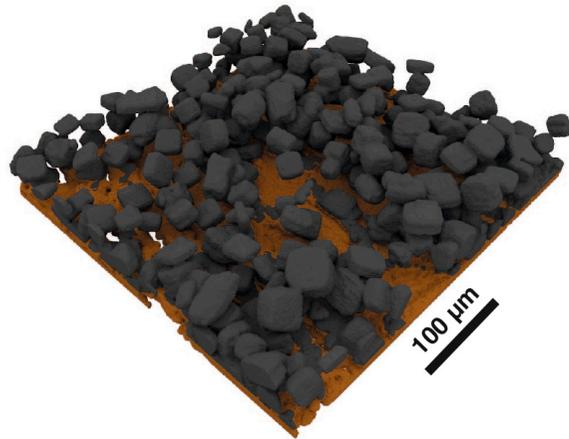
- Mesures en temps réel
- Le directeur de management des déchets radioactifs de la UK Nuclear Decommissioning Authority conduit des études sur la corrosion de l'acier inoxydable en vue de développer des modèles pour décrire les dommages dus à la corrosion.



©'Radioactive Waste Management' (RWM)

Application:

- Une microcellule contenant une solution NaCl fût montée sur un échantillon d'acier inoxydable.
- La formation de petits trous microscopiques sous contrôle électrochimique in situ fût suivie en temps réel. Les trous se développent le long des microstructures produites lors du laminage.



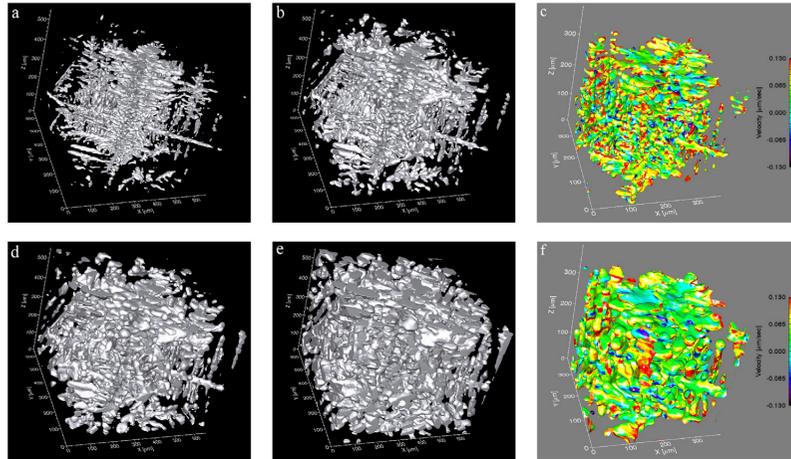
Processus d'altération des électrodes de batterie au Li en fonction du temps d'utilisation ?

- Tomographie à rayons X en temps réel des électrodes permet aux ingénieurs de tirer des conclusions sur le comportement macroscopique à partir des changements chimiques et de structure microscopique du matériau des électrodes.



Application:

- Les batteries au Lithium furent améliorée en utilisant des matériaux de haute densité énergétique. Ceux-ci changent sensiblement de volume lors des cycle de chargement et déchargement. Les changements structuraux et chimiques furent mesurés pendant les cycles d'une cellule.



A quelle vitesse se forment les dendrites dans un alliage Al-Cu?

- Des mesures tomographique microscopiques rayons X ultra rapides en 3D furent prises pendant le refroidissement de l'alliage en dessous de son point de fusion.

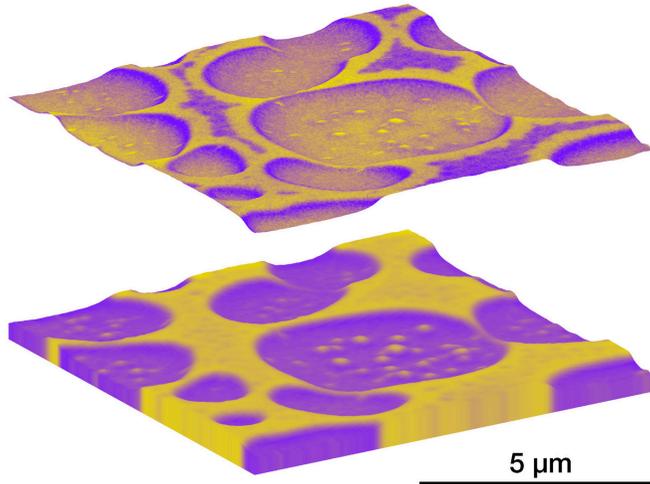


Le secteur des transports
a tendance à quitter l'acier...

... pour des alliages
plus légers tels que
Al-Cu

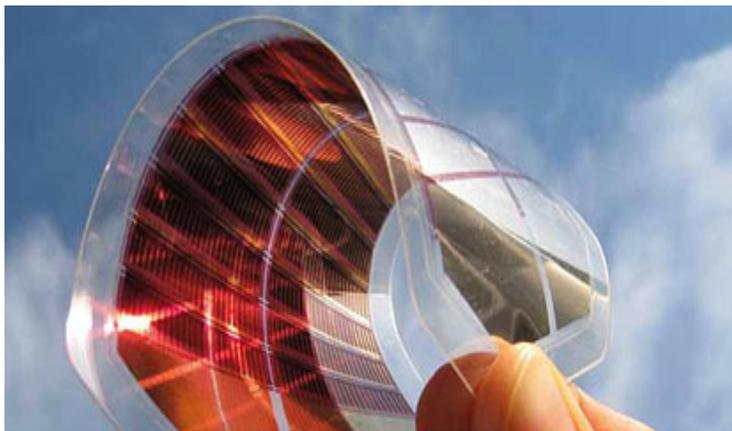
Application:

- Le comportement des matériaux sous hautes températures sont décisives pour leur propriétés.
- Les mesures en temps réel illustrèrent la rapidité du processus de solidification.



Différences entre couches superficielles et internes de mélanges de polymères ?

- La microscopie de transmission à balayage (rayons X) permet de prendre simultanément des images de surface et de l'intérieur pour des matériaux même sans différence de densité électronique ou atomique !
- La compagnie Cambridge Display Technology Ltd développe des mélanges de polymères semi-conducteurs pour fabriquer des cellules photovoltaïques.

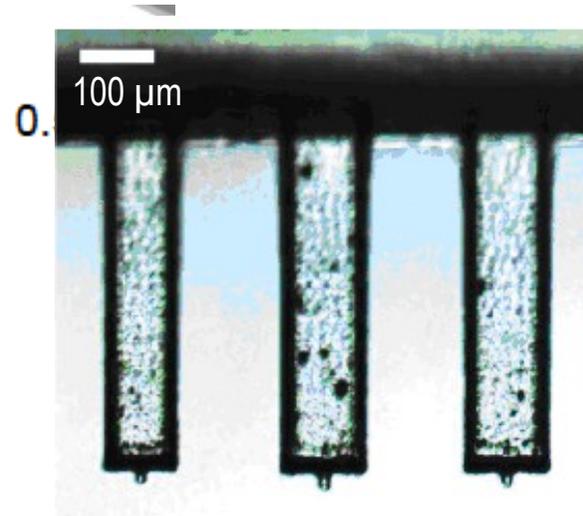
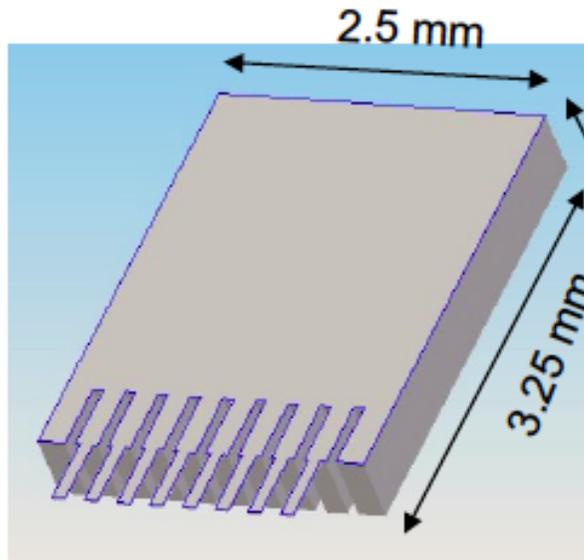


©Fraunhofer ISE

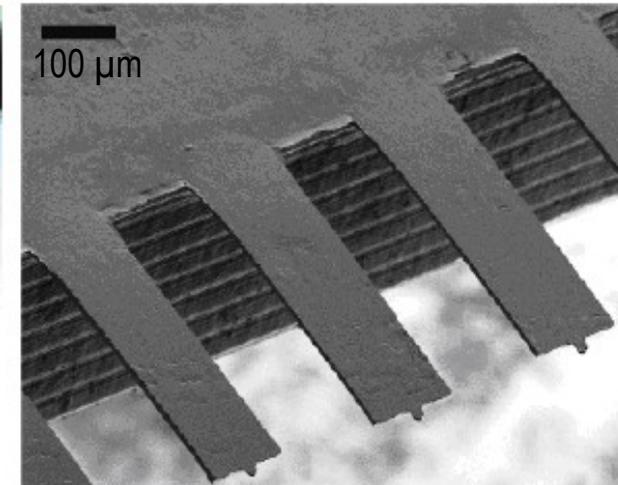
Application:

- La microstructure des fines couches superficielles détermine fortement l'efficacité des cellules solaires car elle détermine l'interface vers les électrodes qui transportent le courant au-delà de la cellule.

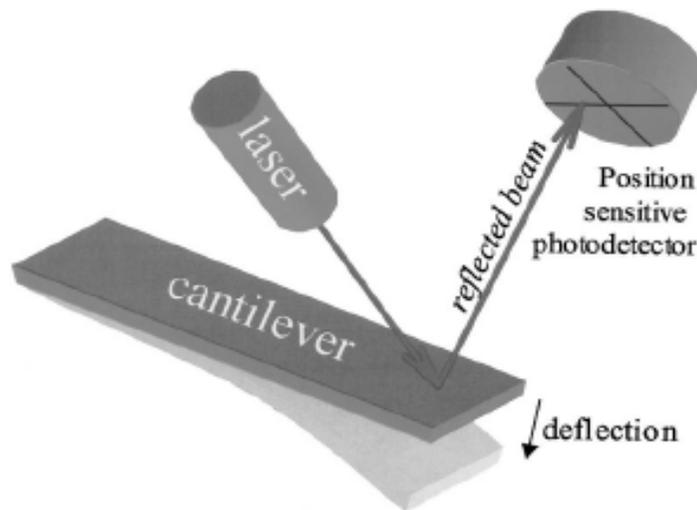
Cantilevers moulés par injection



Microscopie optique



Microscopie électronique à balayage

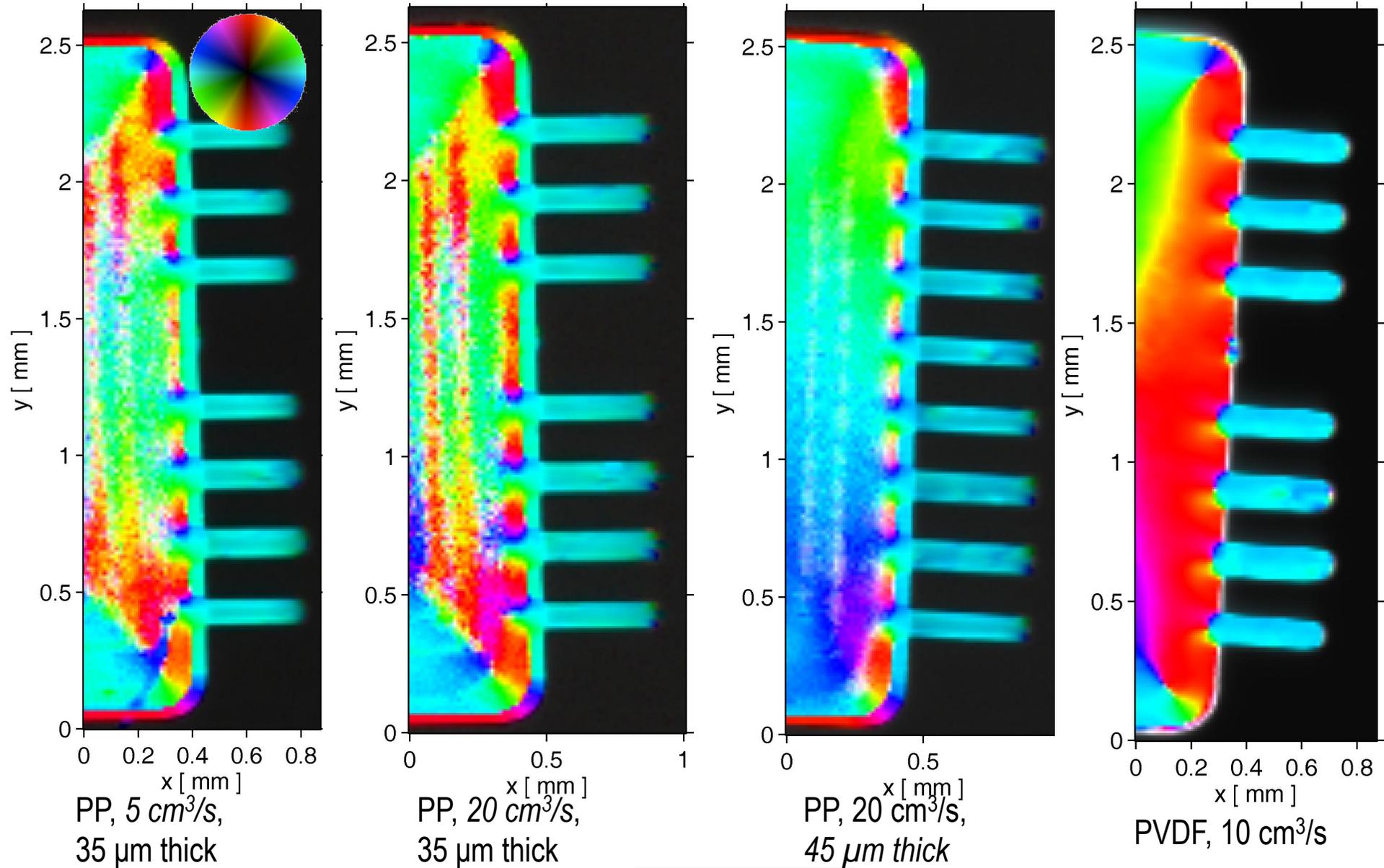


senseurs pour applications médicales

Application:

- Les cantilevers se courbent sous le poids de des échantillons posés dessus
- Fabriquer des cantilever performants à bon marché
- Mesure au SLS informe sur la nanostructure sur une grande échelle de distance

Cantilevers: étude selon la vitesse d'injection



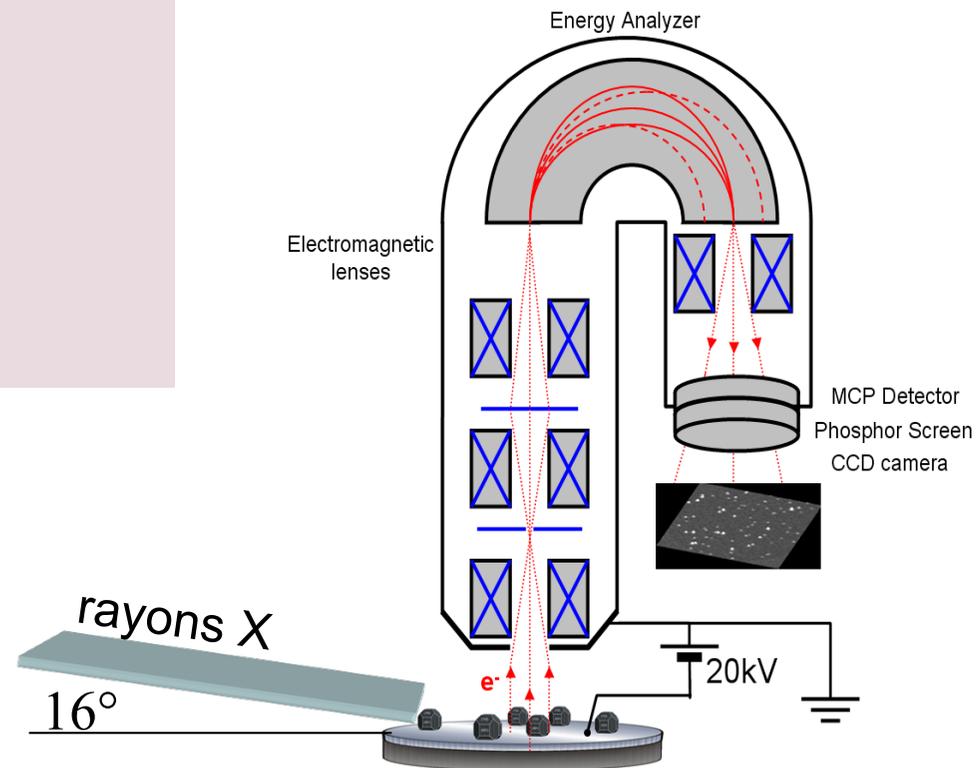
8.3 – 18.3 nm

Spectroscopie d'absorption avec résolution spatiale.

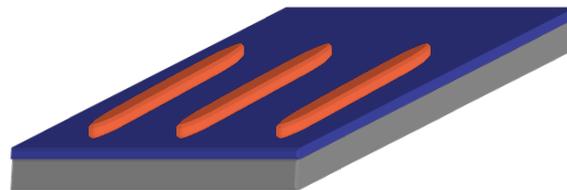
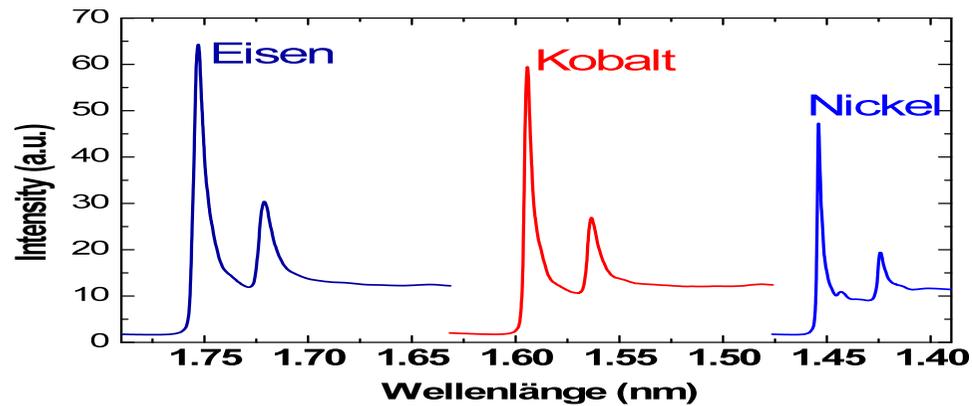
Est sensible à:

- composition élémentaire
- liaisons chimiques
- paramètres structuraux
- structure électronique
- propriétés magnétiques

Schéma du microscope (ELMITEC)

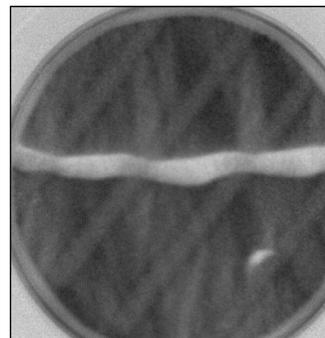
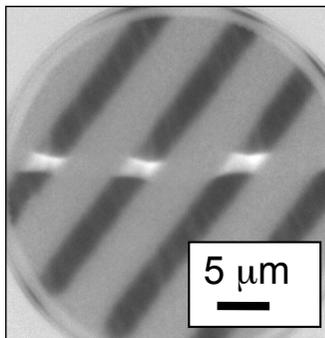


„Démontage“ d'un matériau

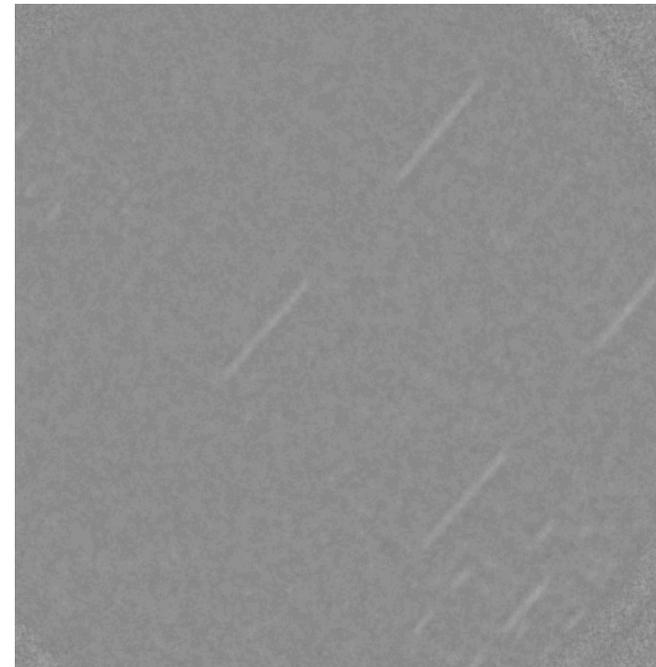


Kobalt-Linien

FeNi-Schicht



En variant la longueur d'onde des rayons X → sensibilité aux divers éléments et même à leur état chimique !



En variant la polarisation de la lumière → sensibilité à l'orientation magnétique

Image de sensibilité au Fe

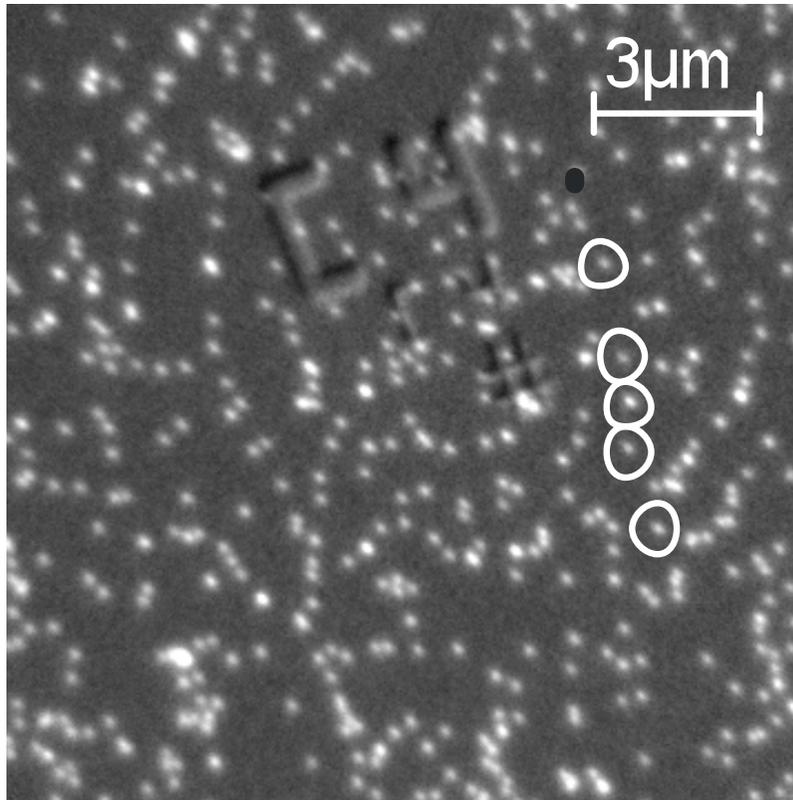
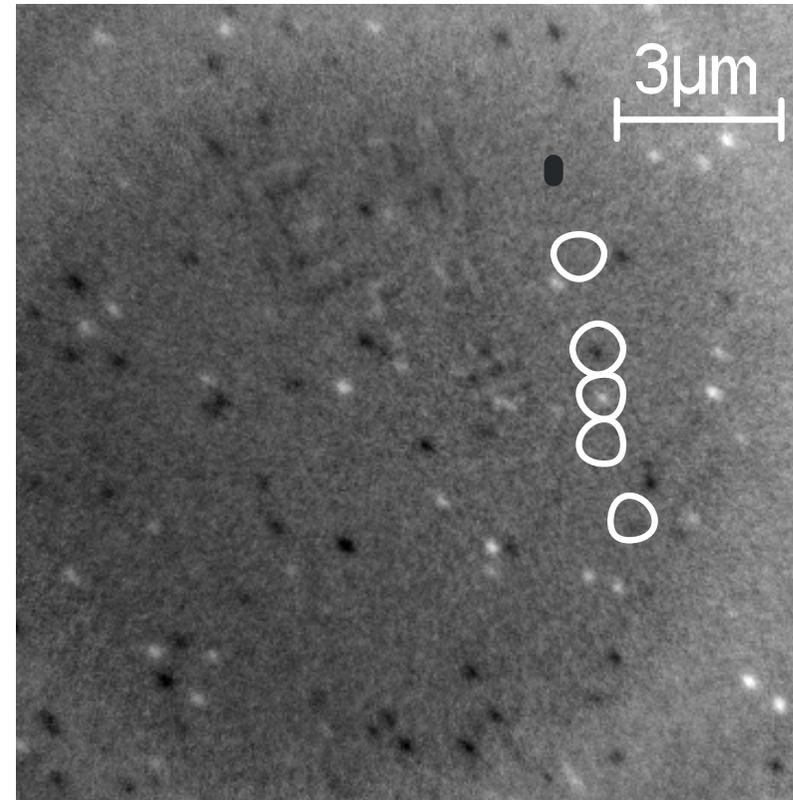
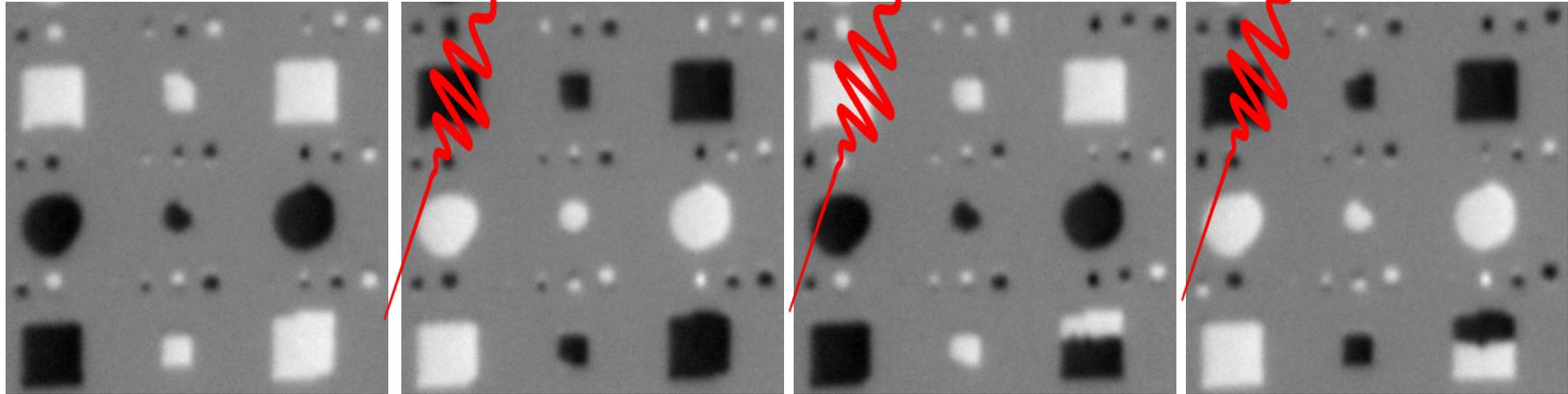


Image du magnétisme



- Pourquoi toutes les particules de fer ne sont-elles pas magnétiques ?
- Pourquoi y en a-t-il des magnétiques ?

Switching du magnétisme sous impulsions laser

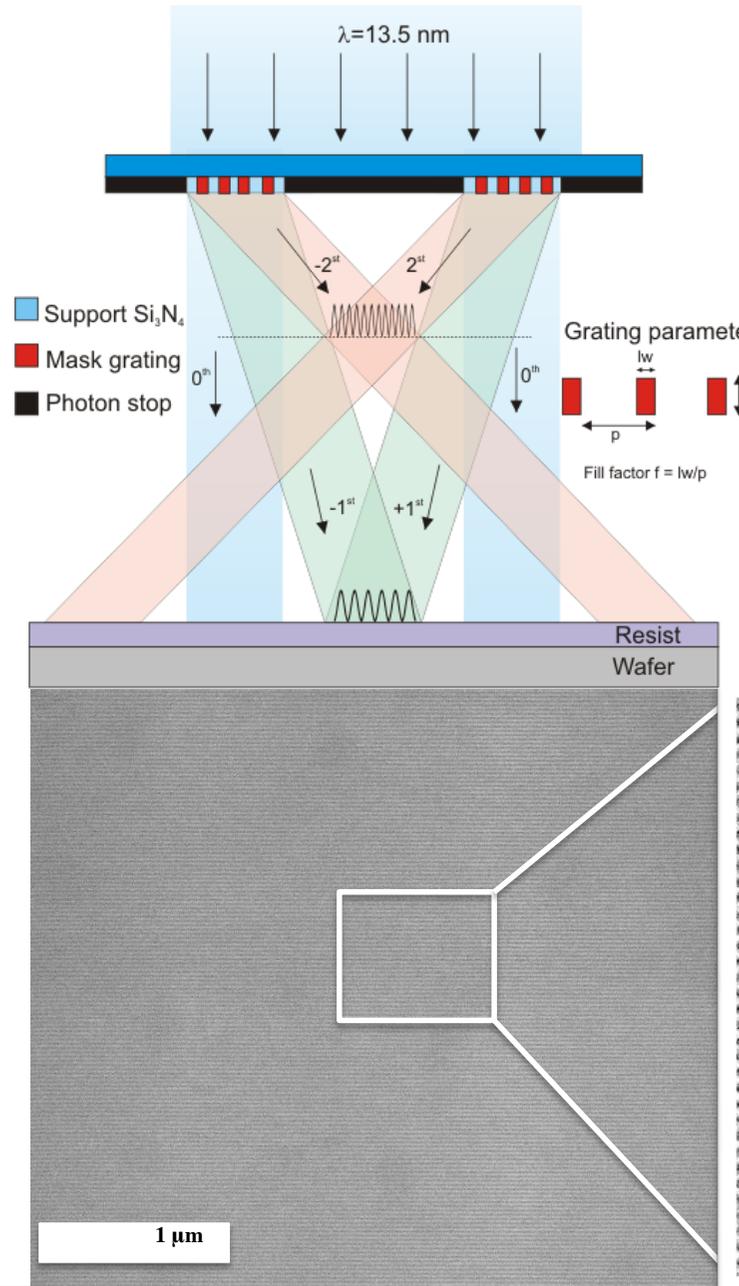


2 μm

Impulsions laser de 50fs
Sans champ magnétique appliqué

L. Le Guyader, S. El Moussaoui, M. Buzzi, R. V. Chopdekar, L. J. Heyderman, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, and F. Nolting, *App Phys. Lett.* **101**, 022410 (2012).

Production de lignes dans du photo-résistant

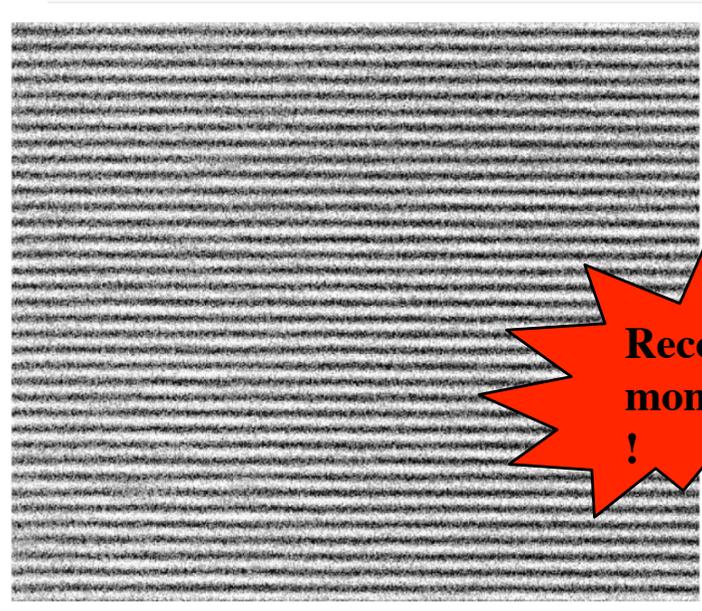


Ultra-haute résolution grâce au 2nd ordre de diffraction

Meilleure résolution et plus faible rugosité de la largeur de ligne

8 nm demi-hauteur

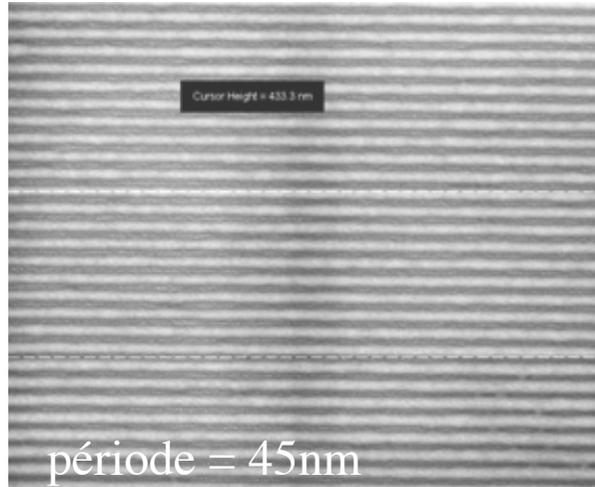
Photo-résistant: HSQ



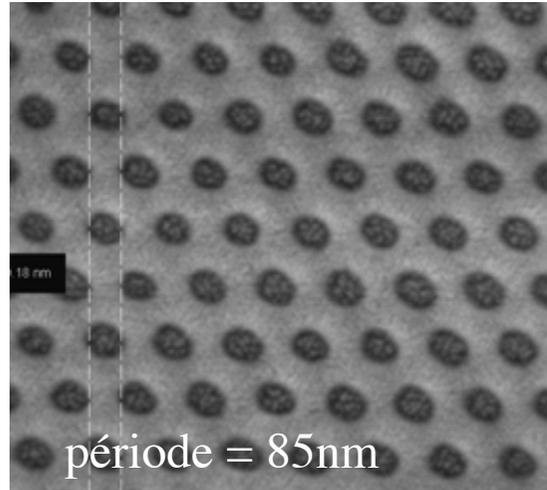
Record mondial
!

Structures produites dans du PMMA par interférences

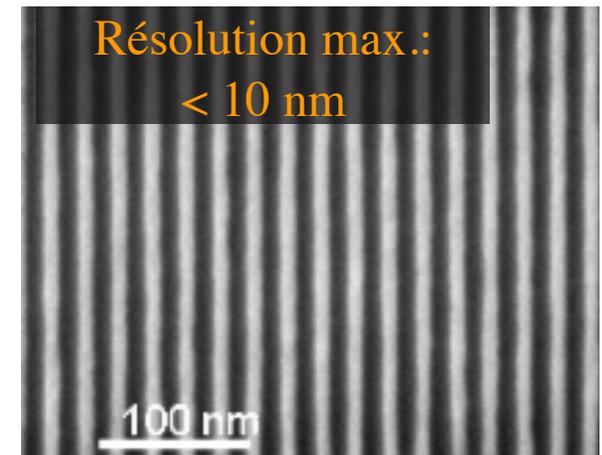
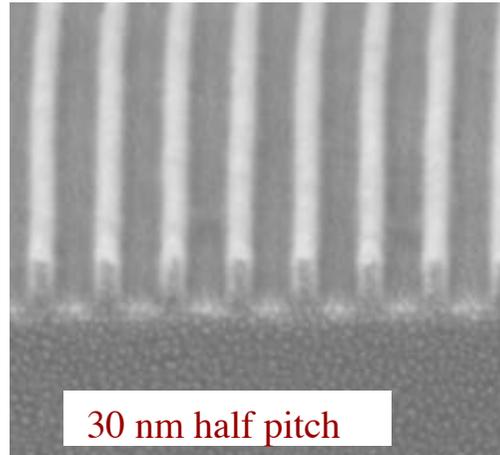
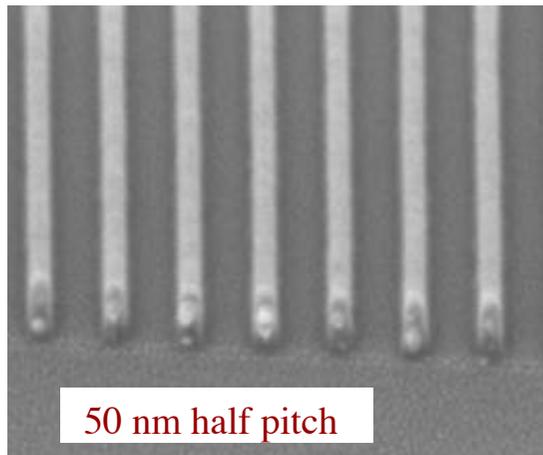
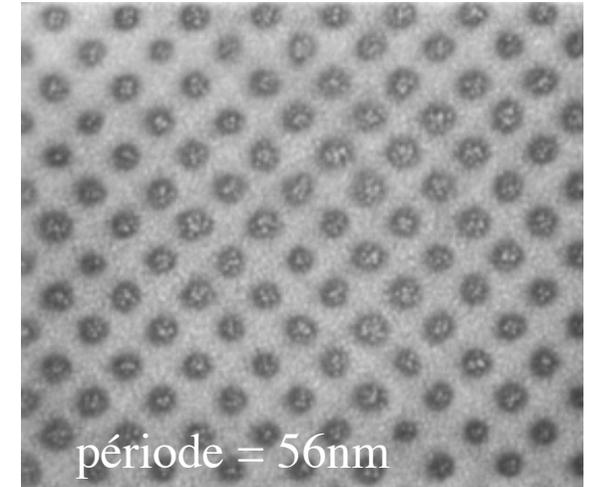
2-faisceaux

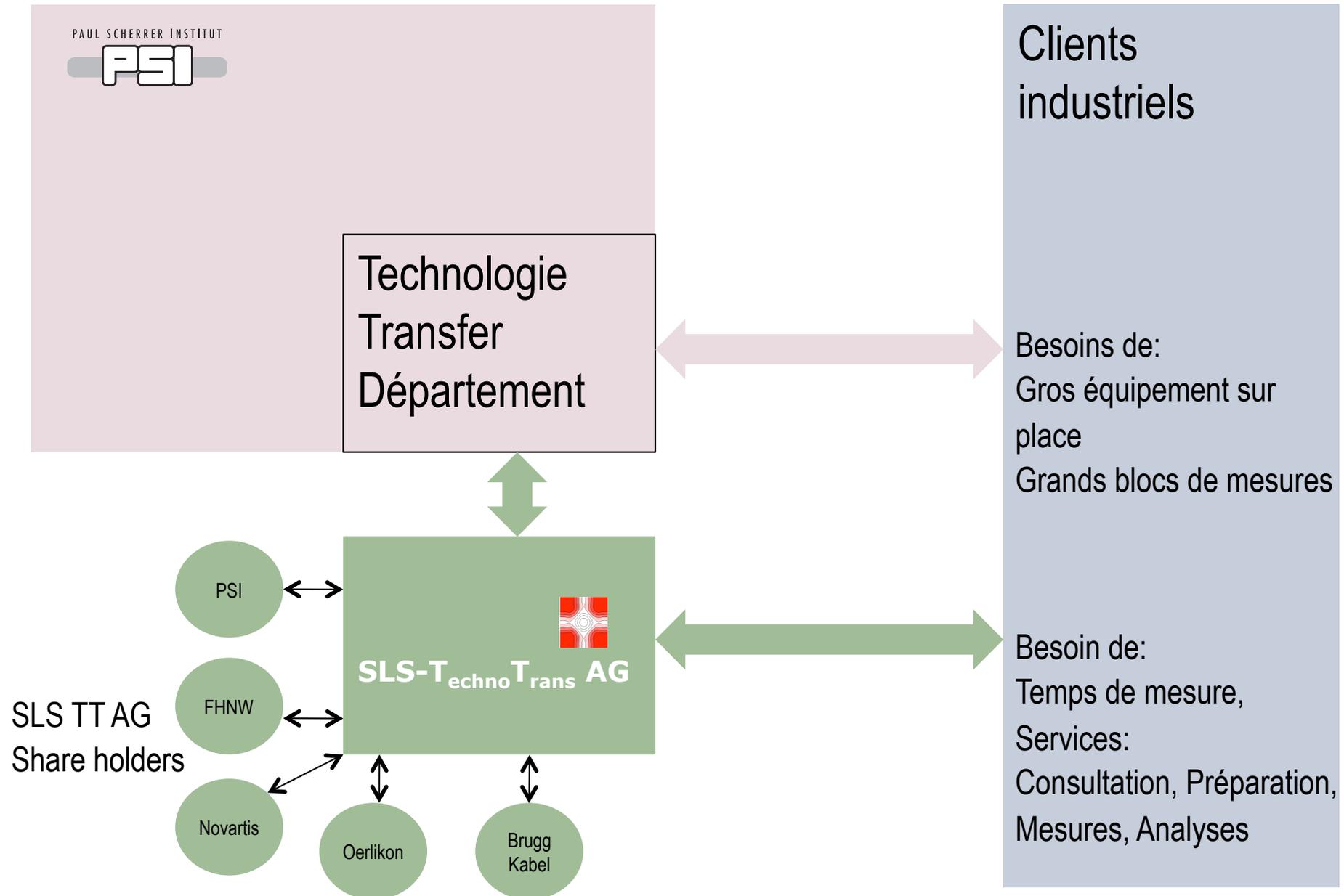


3-faisceaux



4-faisceaux



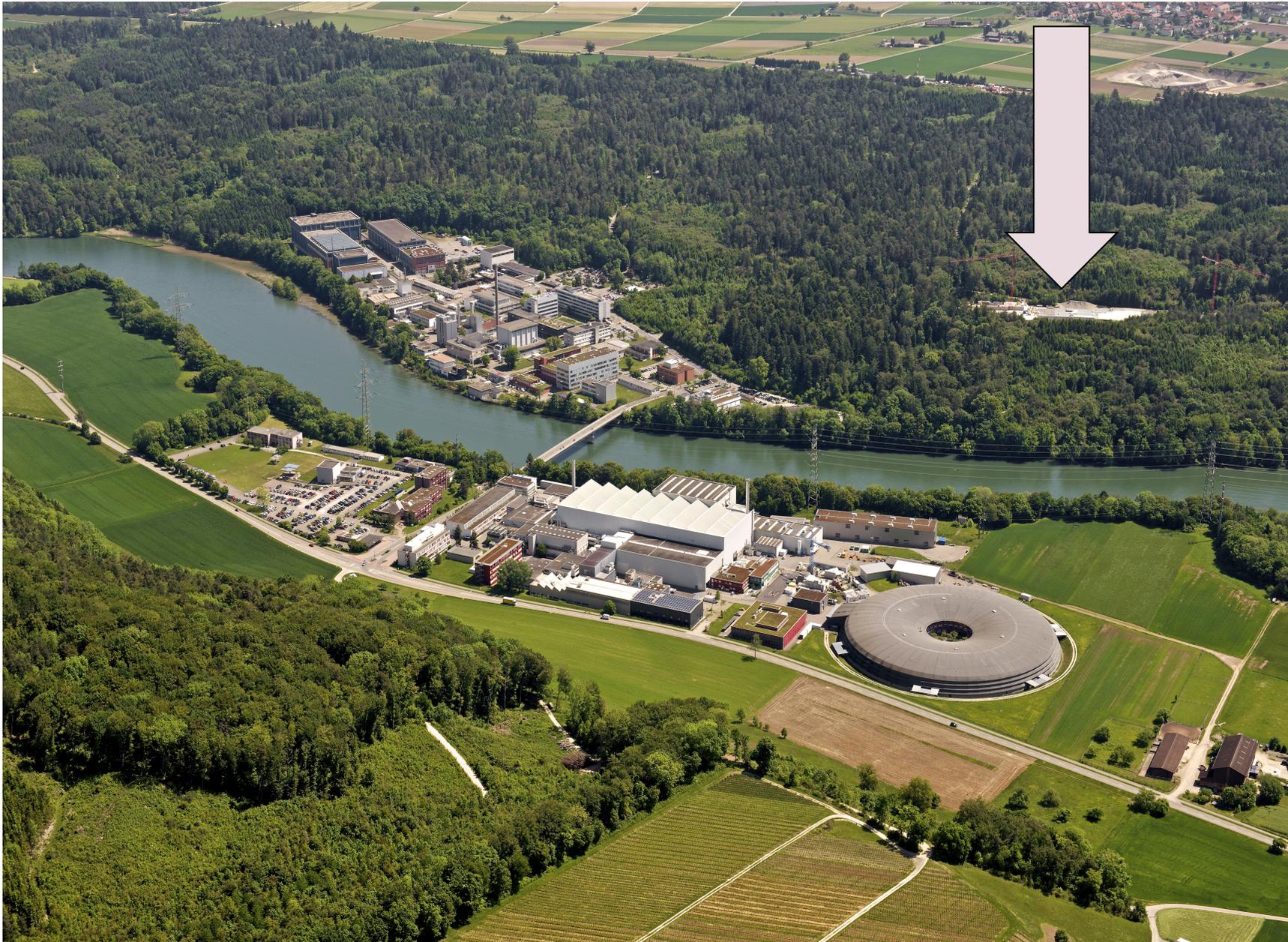


Avantages

- ... installation au top niveau, haut degré d'automatisation et laboratoire de préparation sur place
- ... surveillance automatique des expériences
- ... facilité d'accès et hauts taux de rotation
- ... plus de 70 scientifiques et experts
- ... logements sur place pour utilisateurs



FEL encore 1'000 fois plus brillant que le SLS





Stefan Müller
Paul Scherrer Institut
WSLA 110
CH-5232 Villigen
PSI +41 56 310 54 27
stefan.mueller@psi.ch
<http://www.psi.ch/sls>



Aline Cossy-Gantner, PhD
Cossgan
Kandernerstrasse 4
79410 Badenweiler
D-79410 Badenweiler
PSI +49 174 305 98 38 56
aline@cossgan.com
<http://www.psi.ch/sls>