

## La fouille continue

On peut voir un synchrotron comme un système abstrait destiné au monde scientifique. Mais aussi comme une usine à fabriquer de la lumière, 24h/24 avec des contraintes de disponibilité digne du monde industriel.

Vue des lignes de lumières.

Depuis le début des années 2000, sur le plateau de Saclay - en région parisienne - des fouilles archéologiques ont mis à jour plusieurs habitats dont les plus anciens datent de la fin de l'âge de bronze (2/4000 avant JC). Mais depuis quelques temps les fouilles se sont déplacées. Si les recherches macroscopi-

ques continuent leur chemin, la fouille microscopique prend le relais. C'est à l'assaut de la matière, en utilisant des méthodes non-visibles à l'œil nu que les scientifiques travaillent. Et l'un des éléments qui les aide c'est le Synchrotron Soleil, nouvellement installé sur le plateau de Saclay.

Un centre de production de rayonnement synchrotron qui emploie plus de 350 personnes dont des chercheurs en tout genre, mais également une véritable usine fonctionnant 24 h sur 24 avec un planning serré et des contraintes en terme de fiabilité, de sécurité et de contrôle/commande proches de l'industrie. D'ailleurs les promoteurs ont choisi des outils industriellement reconnus, plutôt que de jouer aux apprentis sorciers à partir de cartes et composants Open Source.

Plusieurs dizaines de synchrotrons proposent leur service sur la planète, dont deux en France. Pour celui de Saclay, le planning est complet, et de nouvelles lignes de lumières

sont en phase de construction. Et les délais s'allongent pour avoir les fameuses « heures de lumière ». Normal, la grande majorité des chercheurs ne payent pas l'utilisation de ce matériel dernier cri, à l'inverse un comité de scientifique accepte ou rejette les demandes qui lui sont faites, si votre projet est retenu, la condition *sine qua non* reste la publication des résultats, sinon il faudra passer par la case facturation, ce que font quelques industries, notamment dans la pharmacie ou le cosmétique, qui souhaitent développer sans diffuser.

Une raréfaction des heures qui poussent les scientifiques à utiliser leur créneau horaire à plein. De jour, comme de nuit, dormant sur place ils suivent les résultats que les automatismes et autres instruments veulent bien leur distiller.

### POURQUOI ?

Que vient-on chercher dans un synchrotron ? L'objectif est de travailler sur un échantillon de matières, de cellule... parmi les derniers travaux, on trouve

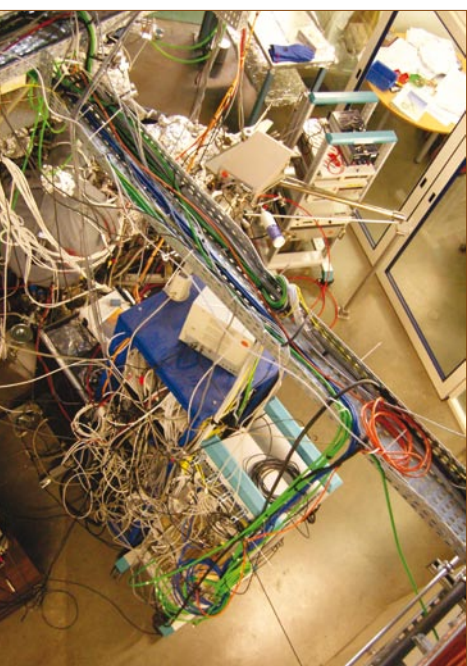
pêle-mêle le vernis d'un Stradivarius, l'étude d'éléments de pot catalytique ou la structure de protéines. Sur cet échantillon, une lumière 10.000 plus intense que la lumière solaire, vient pénétrer la matière et permettre d'étudier la géométrie en surface ou en volume mais également ses propriétés.

Cela est possible en raison d'une donnée physique qui veut que toute particule chargée (circulant presque à la vitesse de la lumière) subissant une accélération, perd de l'énergie en émettant un rayonnement électromagnétique, dit rayonnement synchrotron.

Pour les échantillons, les résultats varient en fonction du type de lumière qu'elle soit dans le spectre rayons X ou ultraviolets. D'où sur un synchrotron, plusieurs laboratoires en parallèle, chacun travaillant dans une lumière bien définie.

### COMMENT ?

Pour y parvenir, la machine se découpe en quatre parties majeures.



Les scientifiques s'en donnent à cœur joie, avec des spaguettis de câbles.

Premier élément, le Linac. Il débute par un canon à électrons comparable à celui que l'on trouve dans un téléviseur : un élément chauffé produit des électrons qu'un champ électrique regroupe en paquets de la taille d'un cheveu. A ce moment-là, l'énergie des électrons est de 15 MeV et les paquets d'électrons vont être accélérés.

Un groupeur aura pour tâche d'accélérer les électrons à la sortie du canon jusqu'à la vitesse de la lumière. Il est à noter que le rendement de la ligne est au mieux de 30 %, c'est-à-dire que 30 % des électrons fabriqués par le Linac sont injectés dans le booster ; les autres se perdent.

Deuxième élément, le booster, sorte d'accélérateur circulaire qui donne à l'électron sa vitesse. Les électrons entrent dans le booster, synchrotron de 157 m de périmètre, et en une fraction de seconde, leur énergie va passer de 100 MeV (à la sortie du groupeur) à 2750 MeV. Pendant la montée en énergie, les électrons sont dans le booster et font environ 300.000 tours.

Ensuite, les électrons sont transférés dans l'anneau de 354 mètres de périmètre. Ils vont y tourner avec une énergie de 2,75 GeV pendant plusieurs heures. C'est un tube fermé d'environ 5 cm de diamètre constitué d'une succession de virages (où se trouvent les éléments magnétiques de courbure appelés aussi dipôles ou aimants de courbure) de parties droites où se trouvent les éléments magnétiques d'insertion (wiggler et onduleur) et de réglage du faisceau (quadrupôles et sextupôles). Sur les 354 m de l'anneau, il y a 42 % de parties droites.



Armoire de commande avec les automates programmables.

Chaque fois que les électrons se déplacent de façon non-rectiligne et non-uniforme (ce qui est le cas dans les dipôles et dans les éléments magnétiques d'insertion), ils subissent une accélération et perdent de l'énergie sous forme de rayonnement synchrotron.

Des éléments magnétiques d'insertion sont placés dans les parties droites de l'anneau. Ils sont formés de deux mâchoires faites de petits aimants juxtaposés qui obligent les électrons à suivre une trajectoire ondulée, un peu comme celle d'un skieur qui godille. A chaque ondulation, l'électron subit une accélération et émet de la lumière.

Ces éléments magnétiques guident le paquet d'électrons tout au long de son « voyage ». Les dipôles (36 dans le booster et 32 dans l'anneau) sont à la fois des éléments magnétiques de

guidage qui courbent la trajectoire des électrons et des sources de lumière. Les quadrupôles (44 dans le booster et 160 dans l'anneau) et les sextupôles (28 dans le booster et 120 dans l'anneau) sont des « optiques » magnétiques qui permettent de conserver au mieux les qualités du faisceau.

## LES LABOS

Les expériences se déroulent dans des lignes de lumière, qui sont des « laboratoires » d'une vingtaine de mètres de long

en moyenne. Chaque ligne de lumière est spécialisée pour un domaine bien défini.

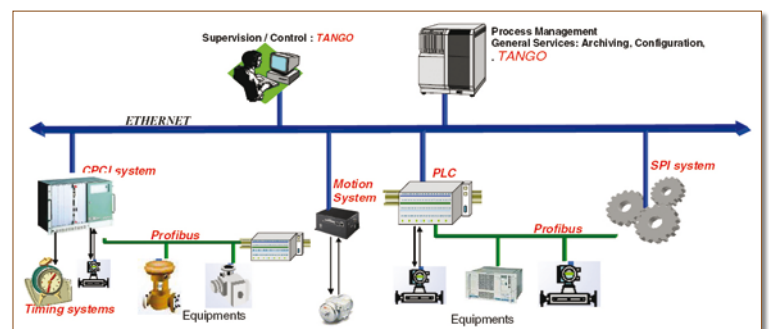
Les lignes de lumière sont constituées de trois parties. D'abord la cabine optique : c'est la première cabine où arrive le faisceau de lumière. Miroirs et monochromateurs sélectionnent la longueur d'onde nécessaire à l'expérience et focalisent le faisceau.

Ensuite, la cabine expérience. L'échantillon à étudier, généralement très petit (< mm), est positionné sur son support. Lorsqu'il « reçoit » la lumière incidente, il « répond » de diverses manières. Cette réponse est enregistrée par un ou plusieurs détecteurs qui dépendent du type d'émission.

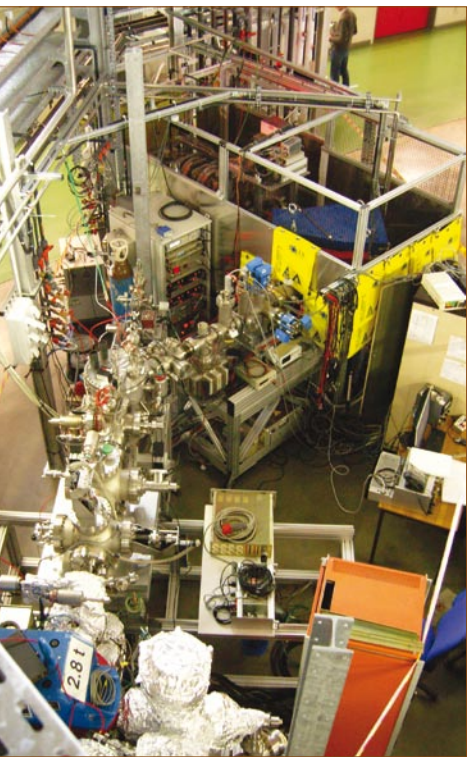
Et enfin, la station de travail. De cette cabine, chercheurs et ingénieurs assurent de nombreuses tâches. Ils interviennent sur certains paramètres de l'expérience (position de l'échantillon, focalisation, longueur d'onde, etc.) et suivent l'enregistrement des résultats via des systèmes électroniques et informatiques.

## DES AUTOMATES PROGRAMMABLES

Bien que non-industriel, le site se doit de livrer la lumière aux scientifiques. Pour cela le Synchrotron Soleil s'est doté de



Architecture.



Vue d'un labo.

matériel industriel, c'est ainsi que depuis le canon à électrons du Linac jusqu'à la sortie du faisceau de photons délivré aux expériences, le système de contrôle de chaque ligne d'expériences doit permettre de



Chassis CPC1 pour gérer la motorisation.

fermer les mâchoires d'un onduleur, d'accéder à la valeur du courant stocké dans l'anneau, de lancer une acquisition de données, puis de récupérer les informations acquises.

Une équipe a ainsi été montée pour définir, mettre en place et entretenir les équipements analogiques et numériques nécessaires pour le contrôle/commande et l'acquisition des informations en provenance des accélérateurs, lignes de lumière et équipements d'infrastructure.

Pour le contrôle commande, ce sont les automates Siemens de la série S7-300 qui ont été retenus notamment pour gérer les process lents et la sécurité. On les retrouve pour les mesures de températures, la gestion du vide, les remontées d'alarmes et les interlocks machine.

En plus des automates et de ses entrées-sorties, des coupleurs Ethernet et Profibus permettent le lien entre les différents îlots d'automatismes mais aussi vers la supervision. Au total, le site a implanté pour l'instant plus de 200 automates, dont 6 pour le booster et 137 sur l'anneau.

Le programme est réalisé en grafcet et ladder, et les blocks de données échangent avec la supervision Tango. Parmi les fonctionnalités « nous utilisons la communication inter automates par passerelles DP/DP pour assurer la sécurité du vide, le diagnostic de bus avec FB 125 avec apparition/disparition d'esclaves sur les interlocks et la surveillance des aimants, l'utilisation des mécanismes de Sync/Freez pour synchroniser les alimentations de l'anneau » détaille Yves Marie Abiven en charge des automatismes à Soleil.

## LE VIDE

Pour rendre l'ensemble encore plus complexe, il faut maintenir le vide dans l'anneau afin de ne subir aucune déperdition d'énergie qui serait due aux collisions avec des molécules de gaz, il règne donc un vide d'environ 10-10 bar.

Cette gestion du vide est capitale pour éviter que les électrons soient ralentis. Pour cela 17 personnes sont au chevet du vide. Un groupe responsable de 84 automates pilotant chacun en moyenne 6 pompes ioniques, 3 jauges, 3 vannes, 5 débitmètres, 2 sublimateurs de titane et 15 thermocouples.

Ces contrôleurs d'équipements sont reliés entre eux par Profibus, sachant qu'il a fallu intégrer des passerelles, les équipements et autres appareils du métier du vide, n'ayant pas de connexion Profibus.

## ET DES CHÂSSIS CPC1

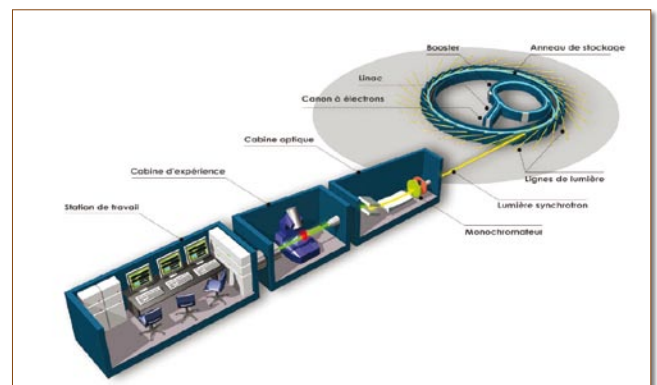
Pour la partie purement motorisation, une architecture non-standard a été privilégiée, et ont ainsi été développés les ControlBox (châssis de contrôle standardisé) et DriverBox (châssis de puissance standard). Des standards maison qui ont permis de gérer des moteurs pas à pas, 3 ou 5 phases, courant continu, piezo... et des codeurs incrémentaux sinus ou absolu analogique. Un dernier châssis pour les moteurs sous vide a été développé : le VacuumBox.

« Notre objectif a été de fournir aux utilisateurs un objet logiciel appelé GalilAxis device » précise Pascale Beti-

nelli, responsable du groupe Electronique Contrôle Acquisition de Soleil. Un logiciel permettant une intégration ponctuelle de fonctionnalités spécifiques.

Physiquement, ce sont des châssis CompactPCI 7U, ils intègrent un module de supervision des alimentations, de la température et de la ventilation. Chaque carte standardisée comprend un Device Serve Tango et un système d'interconnexion.

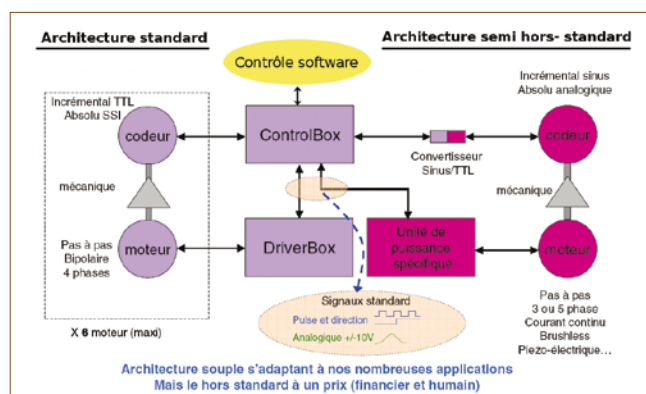
Il a fallu installer un système de synchronisation rapide et distribué, qui a été adapté du futur système de synchronisation du Laser Magajoule. Il gère le déclenchement des différents équipements de la Machine



Les lignes de lumière : interfaces entre la machine et les expériences.

lors des cycles d'injection et d'extraction en couvant l'ensemble de l'installation, y compris les lignes de lumière. L'horloge de référence de la machine est de 352 Mhz avec un jitter inférieur à 100 ps. Le parc comprend 178 systèmes Motion, mais aussi 946 moteurs, de quoi occuper 164 châssis CPCI.

une information directement à la source? Comment empêcher un individu de venir se plonger directement sur les automates programmables avec le risque de rompre la chaîne du vide ou de dévier les électrons de leurs courses folles? Le service automatisés est toujours présent, prêt à reprendre la main pour relan-



### Les motorisations.

Reste la supervision qui est à cheval entre le scientifique et l'industriel. Toutes les informations en provenance des automates ou des contrôleurs CPCI remontent vers un logiciel Open Source, Tango, qui permet d'homogénéiser les données. Ensuite, plusieurs systèmes de supervision sont possibles, et cela à partir des mêmes données, on trouve pêle-mêle du GlobalScreen d'Ordinal ou du Labview de National Instruments ou Matlab. Une salle de supervision remplie de dizaines d'écrans affichant des informations hétéroclites.

Un ensemble qui doit produire en permanence avec une contrainte particulière. Autant jusqu'à la fourniture de la lumière le système est fermé à toutes manipulations, autant dans les labos les scientifiques doivent pouvoir s'en donner à cœur joie. Mais comment valider que certains d'entre eux n'aient pas envie de récupérer

cer une machine en arrêt pour des raisons de mise en sécurité. Impossible de construire un mur entre ce qui est modifiable par tous, et ce qui doit rester non-modifiable.

### ET DEMAIN ?

Pour l'instant, seules 20 lignes sont ouvertes dont 14 qui reçoivent des utilisateurs, fin 2010, 26 lignes devraient être opérationnelles. Et il faudra attendre encore 2 à 3 ans pour atteindre les 43 lignes de lumière, la capacité maximale du site.

Parmi les problèmes restant à régler, on retrouve les diffractomètres, sortes de robots 6 axes coûtant près de 500 K euros pièce et qui permettent de positionner les échantillons sous la lumière.

Problème, ils peuvent entrer en collision avec des parties d'entre eux ou avec l'environnement. Et il est impossible de modéliser cet environnement



Rangée d'armoires de commande.

que les scientifiques modifient en fonction de leurs travaux. D'où la mise au point d'un système physique de pare-chocs intégrant des capteurs qui permettent d'interrompre le déplacement en cas de choc.

Mais le plus important reste toujours la fiabilité des installations pour fournir 24 h/24 la lumière. Un challenge doublé par la volonté de rester compétitif dans le domaine,

les scientifiques étant à la recherche d'une augmentation incessante du flux de lumière, les synchrotrons mis en place dans les années 70/80 n'y arrivant plus.

Une augmentation du flux ne pouvant se faire que par une augmentation des champs magnétiques, d'où la gestion toujours plus rapide des informations pour empêcher les électrons de se disperser. ■



Supervision des lignes et de l'anneau.