

Bref historique du développement du rayonnement synchrotron en France

Yves Farge

Chacun sait que le rayonnement électromagnétique présente un spectre de longueurs d'onde extrêmement étendu, allant des grandes ondes encore utilisées pour la radio, en passant par l'infrarouge, le visible, l'ultraviolet, les rayons X et les rayons gamma. Chacun sait également que ce rayonnement a deux applications essentielles dans le champs de la chimie et de la biochimie : l'observation (par exemple la détermination des structures cristallines par diffraction des rayons X) et la modification de liaisons chimiques (par exemple la photocatalyse et la radiothérapie).

Au tout début des années 1970, les sources de rayonnement électromagnétique disponibles étaient loin de couvrir l'ensemble du spectre. Par exemple dans le domaine des rayons X, il fallait se contenter de quelques longueurs d'onde liées à la nature chimique de l'anticathode utilisée ; de même, dans les rayons X mous et l'ultraviolet lointain, on ne disposait d'aucune source. Le rayonnement synchrotron, produit par des électrons très relativistes soumis à des accélérations *ad hoc*, a donc constitué une vraie révolution par l'étendue du spectre couvert, son intensité, sa polarisation, etc.

En 1971, un groupe de physiciens et de photochimistes se réunissait et créait le laboratoire LURE pour exploiter le rayonnement émis par un petit anneau de stockage ACO situé à Orsay et fabriqué par les physiciens des particules du Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL) pour faire des collisions entre des électrons et des positrons. Les premières expériences commencèrent au mois d'avril 1973, en particulier des expériences de photodissociation de molécules simples. En 1976, le LAL mettait en service un nouvel anneau de stockage (DCI) qui émettait dans le domaine des rayons X. LURE a développé l'utilisation de ce rayonnement, en particulier pour la détermination de structures de protéines ; dans ce cas, il était alors possible de collecter les données en une dizaine d'heures alors qu'il fallait douze à quatorze mois avec des tubes à rayons X classiques très performants.

Dans cette première phase, LURE a rapidement accueilli de très nombreuses équipes de disciplines très variées venant tant de France que de l'étranger. En particulier, il y avait une section de physico-chimie atomique et moléculaire particulièrement vivante.

À cette époque, le rayonnement était émis dans des segments de courbure qui donnaient aux électrons une trajectoire circulaire et une accélération centripète. Très rapidement, la communauté naissante du rayonnement synchrotron a pris conscience de la possibilité de soumettre les électrons à d'autres formes d'accélération, par exemple

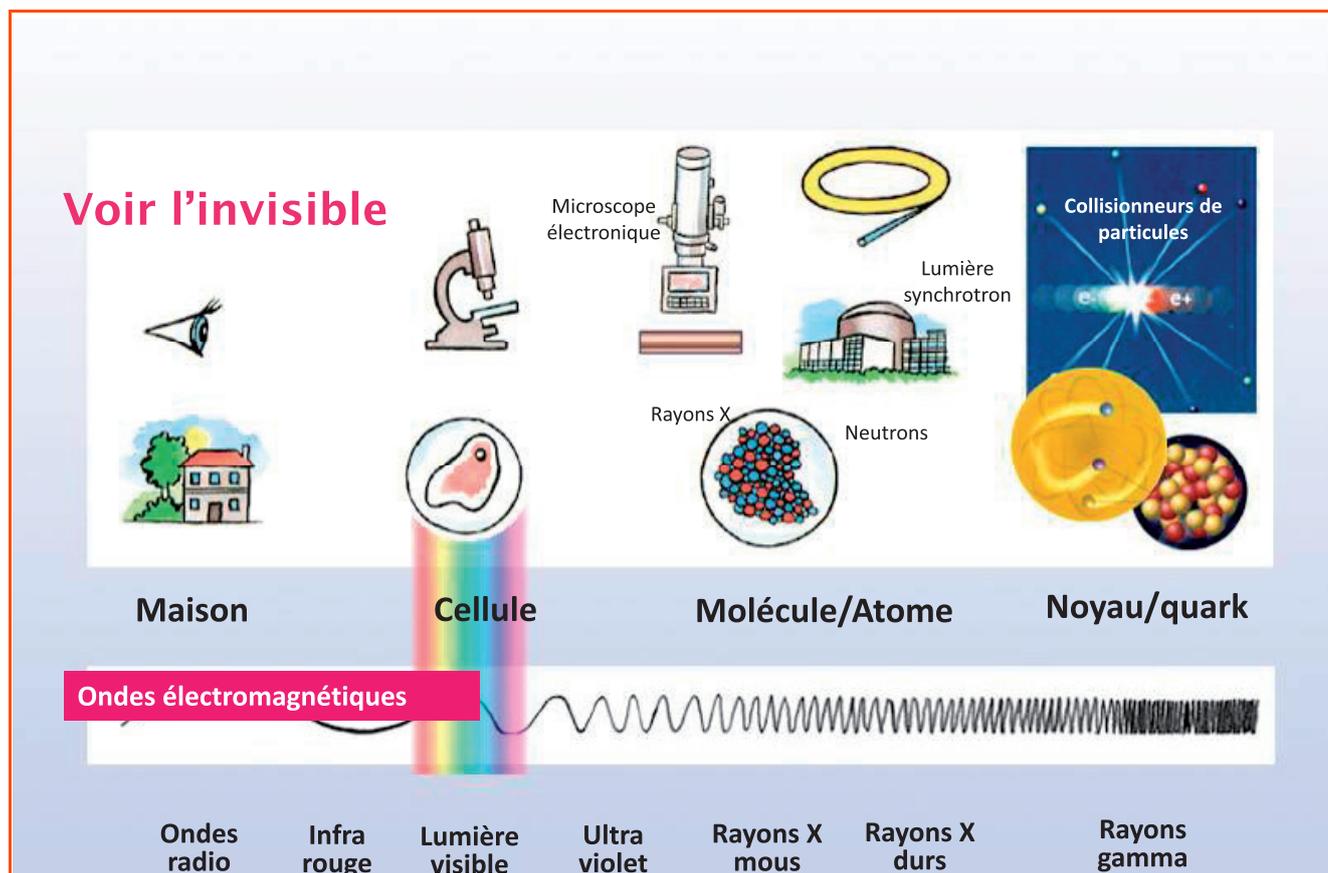


L'anneau de collision d'Orsay (ACO, 22 m de circonférence) a fonctionné de 1965 à 1988.

Il servit tout d'abord pour étudier les annihilations entre électrons et positrons, puis comme source de rayonnement synchrotron dans le domaine de l'ultraviolet lointain.

des accélérations alternées sur une trajectoire linéaire induites par des champs magnétiques périodiques. Elle a pris conscience également que la brillance de la source, pour un nombre donné d'électrons circulant dans la machine, augmentait comme l'inverse du carré de la section du faisceau d'électrons. Ces deux techniques combinées ont permis d'augmenter de façon spectaculaire la brillance des « synchrotrons ». LURE y a joué un rôle majeur en installant sur ACO le premier onduleur fonctionnant sur un synchrotron. Par ailleurs, les ingénieurs machine du laboratoire de l'accélérateur linéaire montraient qu'il était possible de fabriquer des « synchrotrons » optimisés pour émettre du rayonnement avec des faisceaux de particules d'une très grande finesse.

En 1976, la Fondation Européenne de la Science mettait en place un groupe de travail ayant pour mission d'élaborer une stratégie partagée entre les principaux pays européens. Les conclusions émises en 1977 étaient les suivantes : la construction d'une grande machine européenne optimisée pour la production de rayons X et la construction de machines plus petites consacrées aux rayons X mous et à l'ultraviolet ; toutes ces machines étaient appelées de troisième génération car elles combinaient tous les éléments discutés plus haut. Cette stratégie particulièrement pertinente a conduit à la construction de l'ESRF à Grenoble, décidée en 1986 et qui a démarré en 1993. Les dispositifs expérimentaux installés autour de ce synchrotron pour utiliser le rayonnement émis accueillent aujourd'hui environ



4 000 chercheurs par an ; il reste toujours leader mondial dans son domaine. Cette stratégie a conduit également à la construction, à Orsay, d'une machine plus petite appelée Super-ACO qui fut inaugurée en 1986.

L'hypothèse formulée en 1977 que l'ESRF permettrait, dans le domaine des rayons X, d'accueillir tous les chercheurs européens s'est avérée inexacte au vu d'un nombre rapidement croissant de demandes d'utilisation. À Orsay, dans le domaine des rayons X, DCI était une machine de première génération dont les caractéristiques étaient très inférieures à celles de l'ESRF. L'équipe de LURE s'est alors attachée à la conception d'un synchrotron de troisième génération, appelé SOLEIL, qui couvrirait simultanément les rayons X durs, les rayons X mous et l'ultraviolet lointain ; le projet a été décidé en 2000 et le laboratoire SOLEIL est en fonctionnement depuis 2007.

À la fin des années 1970, LURE a testé avec succès une nouvelle technologie laser appelée « laser à électrons libres » : les électrons oscillants dans un onduleur constituent un amplificateur de lumière pour une longueur d'onde définie par plusieurs paramètres et donc ajustable. Cette nouvelle technique a été mise à profit à Orsay pour faire des lasers accordables et puissants dans le domaine de l'infrarouge avec des électrons accélérés par un petit accélérateur linéaire. Le laboratoire CLIO est en charge de ces installations utilisées très largement dans le domaine de la chimie.

Les utilisations du rayonnement synchrotron sont extrêmement nombreuses et utilisent toutes les propriétés de l'interaction des photons avec la matière : absorption, fluorescence, diffusion élastique, diffusion inélastique,

photoémissions, etc. Ces techniques couvrent des domaines scientifiques très vastes qui vont de la physique atomique la plus fondamentale, en passant par la photochimie, l'étude des surfaces, l'imagerie à haute résolution dans le domaine des rayons X, ou encore des analyses chimiques particulièrement fines comme celle, publiée dans la presse*, de produits de beauté retrouvés dans des nécropoles égyptiennes.

Notre pays a joué un rôle majeur dans l'aventure du rayonnement synchrotron dont on peut être fier. De nombreux pays ont construit des synchrotrons du type ESRF ou SOLEIL. Avec ces deux synchrotrons, les scientifiques français disposent d'outils de tout premier plan au niveau mondial.

La communauté des chimistes utilise le rayonnement synchrotron depuis bientôt quarante ans ; il ne fait aucun doute qu'elle va continuer à en trouver de nouvelles applications.

* Cotte M., Dumas P., Richard G., Breniaux R., Walter P., New insight on ancient cosmetic preparation by synchrotron-based infrared microscopy, *Analytica Chimica Acta*, **2005**, 553, p. 105 ; Walter P., Making make-up in Ancient Egypt, *Nature*, **1999**, 397, p. 483.



Yves Farge

est responsable de la Commission Technologies & Société de l'Académie des Technologies*.

* Académie des Technologies, Grand Palais des Champs Élysées, Porte C, Avenue Franklin D. Roosevelt, F-75008 Paris.
Courriel : yvesfarge@wanadoo.fr