

**Zeitschrift:** Horizons : le magazine suisse de la recherche scientifique  
**Herausgeber:** Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique  
**Band:** - (1997)  
**Heft:** 32

**Artikel:** Comme un ballon avant le pénalty  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-553894>

### **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:** 10.02.2026

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

# Comme un ballon avant le pénalty

Avec le spectromètre qu'ils ont développé à l'Université de Fribourg, des physiciens parviennent à visualiser l'agencement des atomes qui constituent cristaux et molécules. Ils ont notamment réussi à observer comment les fameux «footballènes» reposent sur une surface métallique.

**A**vant de tirer un pénalty, dans quelle position un footballeur place-t-il son ballon sur le gazon: à plat sur un des pentagones noirs? ou plutôt sur un hexagone blanc? ou encore, bien aligné sur une couture?

250 millions de fois plus petit, il existe des molécules constituées d'atomes de carbone dont la structure les fait ressembler à de microscopiques ballons de football: les fameux *footballènes*, lesquels font partie de la grande famille des *fullerènes*. Dans cet univers lilliputien – où, à l'échelle de ces ballons, un millimètre carré contiendrait 10 millions de terrains de football – l'équipe de physiciens du Prof. Louis Schlapbach (Université de Fribourg) est parvenue à visualiser comment les molécules de footballènes reposent sur un «terrain» d'atomes parfaitement rangés.

«A la surface d'un cristal de cuivre, par exemple, les footballènes sont en contact soit par une face hexagonale, soit par une arête commune à un pentagone et à un hexagone», révèle Philippe Aebi qui participe activement à ces travaux de recherche. «Avec Roman Fasel et Raffaele Agostino, nous avons découvert que ces molécules choisissent l'une ou l'autre de ces dispositions. Leur orientation dépend de la facette du cristal de cuivre sur laquelle nous avons déposé les footballènes. Sur de l'aluminium, dont les atomes sont légèrement plus gros, les footballènes entrent en

contact soit par une face hexagonale, soit par un de leurs 60 sommets. Ces sites, où sont localisés les atomes de carbone, correspondent sur un vrai ballon aux points de rencontre de trois coutures.»

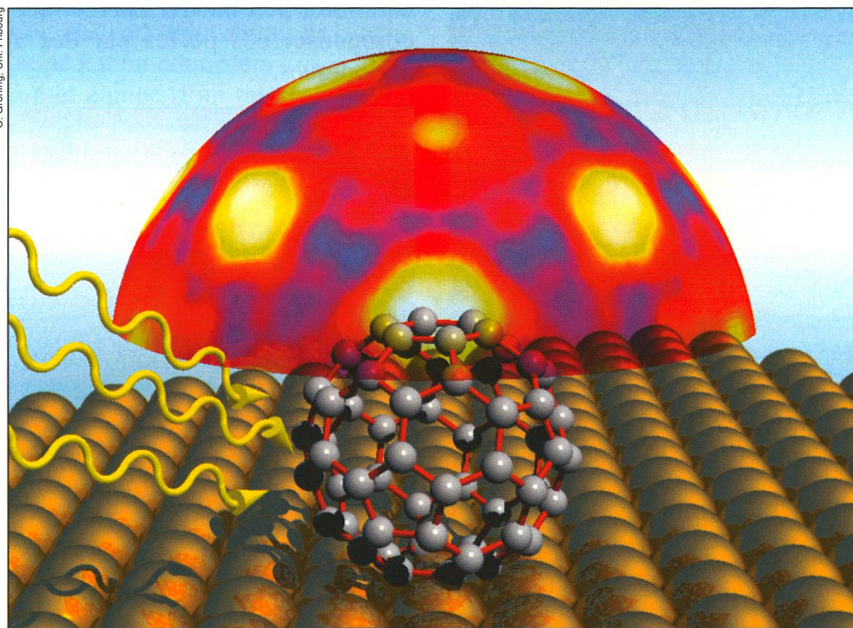
Comment les chercheurs sont-ils parvenus à visualiser la répartition de ces atomes? Grâce à l'*effet photoélectronique*. Lorsqu'un atome est soumis à des rayons X ou ultraviolets, le surplus d'énergie qu'il acquiert peut lui faire perdre des électrons. Ces électrons étant répartis

sur des couches successives autour du noyau de l'atome – à la manière des pelures d'un oignon – les plus externes sont d'abord éjectés. Ensuite, seulement si on accroît l'énergie, les plus proches du noyau peuvent être libérés.

En 1981, Kai Siegbahn recevait le Prix Nobel de physique pour ses recherches sur la *spectroscopie électronique à haute résolution*,

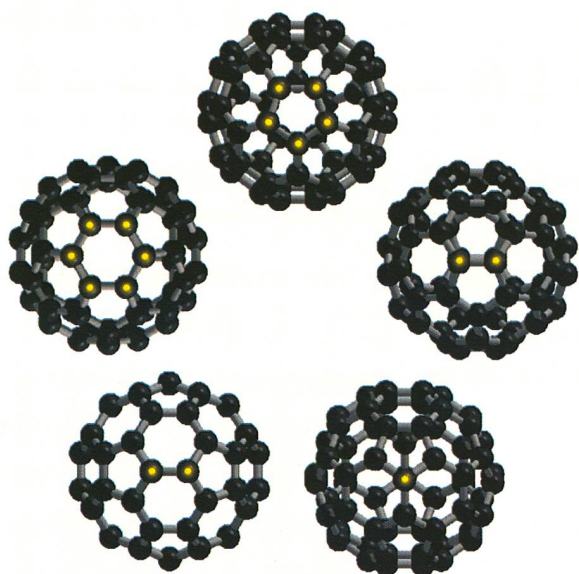
une technique d'analyse qui permet de définir la composition chimique d'à peu près n'importe quelle matière. Dans la foulée, le savant suédois découvrait aussi l'effet de diffraction des électrons proches du noyau qui, une fois libérés, partent de préférence en direction des atomes voisins.

En détectant le trajet de ces électrons, tout en sachant d'où ils ont été émis, il est possible de connaître la position des atomes environnants. Cette propriété est à



L'énergie des rayons X (ondes jaunes) libère des électrons qui révèlent la position (dôme coloré) des 60 atomes de carbone d'une molécule de *footballène*.





Une même molécule de «footballène» ( $C_{60}$ ) peut reposer de cinq manières différentes sur une surface. En jaune, figurent les atomes de carbone qui entrent en contact avec la surface.

l'origine des techniques d'analyse que les Prof. Schlapbach et Osterwalder (aujourd'hui à l'Université de Zurich) développent depuis dix ans à Fribourg.

«Une amélioration majeure a été apportée à cette technique dans notre laboratoire», explique Philippe Aebi. «Notre porte-échantillon est orientable: non seulement il tourne, comme un tour de potier, mais il peut aussi s'incliner graduellement de l'horizontale jusqu'à la verticale. Un échantillon est ainsi analysé sous plus de 6000 angles de vision différents. Sans ce dispositif «maison», il n'aurait pas été possible de déterminer aussi précisément la géométrie des molécules de fullerènes.»

Bien que l'échantillon mesure seulement quelques millimètres carrés, environ mille milliards de molécules de footballènes peuvent y prendre place. Toute la difficulté de la préparation consiste à déposer une couche uniforme, de l'épaisseur d'une seule molécule. Deux techniques sont utilisées pour obtenir cette *mono-couche*. Soit les molécules sont diluées en petite quantité dans un solvant qui, après s'être évaporé à la température ambiante, permet leur déposition. Soit les molécules sont déposées en vrac, puis, en chauffant la préparation à plusieurs centaines de degrés, on élimine les molécules qui ne font pas partie de la mono-couche. Une analyse dure entre 5 et 12 heures par échantillon.

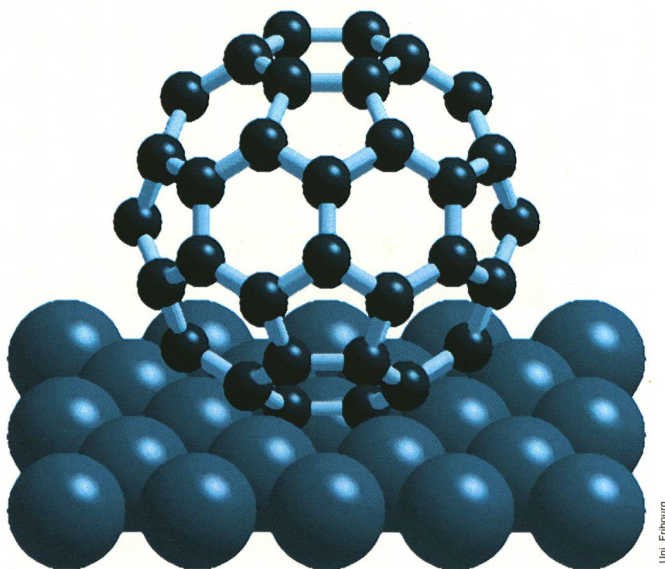
Synthétisés pour la première fois en 1985 à la *Rice University* de Houston par le Britannique Harold Kroto et l'Américain Richard Smalley (Prix Nobel de chimie 1996), les fullerènes font actuellement l'objet de recherches acharnées au niveau international. Cette famille de molécules, dont l'exploration des propriétés chimiques et physique ne fait que commencer, constitue en elle-même une révolution aussi importante que la découverte

du benzène au siècle dernier: c'était alors la naissance de la chimie organique et de la pétrochimie industrielle.

Entre autres propriétés particulières, certains fullerènes se comportent comme des cages où peuvent être introduits d'autres atomes. Roman Fasel collabore avec un chercheur japonais qui a réussi à synthétiser du  $Sc_2@C_{84}$  – cette nouvelle nomenclature indique que deux atomes de scandium ( $Sc_2$ ) sont piégés (@) dans une molécule-cage composée de 84 atomes de carbones ( $C_{84}$ ). Le physicien de Fribourg tente de découvrir où se nichent les deux atomes de scandium dans cette cage de carbone.

## Supraconducteurs et quasi-cristaux

Après avoir étudié la surface de supraconducteurs à haute température pour mieux en comprendre le comportement, Philippe Aebi, associé à Dusanka Naumovic, observe désormais l'agencement atomique des *quasi-cristaux*. Jusqu'ici, on n'avait jamais eu que des modélisations reposant sur des méthodes d'observation détournées pour décrire ces corps chimiques artificiels découverts en 1984. Jamais encore on avait «vu» directement leur structure atomique dont la symétrie engendre un réseau cristallin non répétitif. Les physiciens viennent de découvrir l'agencement des atomes d'aluminium (Al), de palladium (Pd) et de manganèse (Mn) qui constituent un quasi-cristal de  $Al_{70}Pd_{20}Mn_{10}$ . Tout comme les fullerènes, ce matériau a des propriétés extraordinaires: sa dureté approche celle du diamant à la température ambiante, mais il devient maléable vers 600°C, et il est presque aussi anti-adhésif que le téflon. Les scientifiques ont donc de bonnes raisons d'y regarder de plus près.



En contact avec une surface, cette molécule de «footballène» repose ici sur l'une de ses faces hexagonales.