

En avant avec les ions de recul

Une équipe du Centre Interdisciplinaire de Recherches avec les Ions Lourds (CIRIL) étudie les phénomènes de base de l'irradiation par des ions lourds très chargés.

Les modifications des matériaux par irradiation sont le résultat d'une succession d'événements qui vont de la collision initiale à la relaxation structurale en passant par une phase de dissipation de l'énergie. Notre objectif est d'appréhender par une approche pluridisciplinaire l'ensemble de ces processus dans le cas d'une irradiation aux ions (figure 1). Dans ce but, une équipe du CIRIL et de l'Université de Caen s'intéresse à l'étape collisionnelle. La difficulté de cette étude vient de ce que plusieurs particules sont en interaction. En effet, même dans le cas le plus simple de l'ionisation d'un atome d'hydrogène (un proton et un électron) par un proton, trois particules sont impliquées dans la collision. Il faut donc mesurer les caractéristiques cinématiques d'au moins deux d'entre elles pour décrire complètement la collision. Une approche expérimentale est d'autant plus nécessaire que le traitement théorique complet de ce problème reste encore à faire. Les techniques de spectroscopie d'électrons et de photons utilisées jusqu'à présent ont une grande résolution mais une probabilité de détection très faible (de 10^{-7} à 10^{-4}). Les mesures en coïncidence, indispensables pour déterminer le comportement dynamique du système, sont donc très difficiles. Aussi avons-nous développé une spectroscopie de vitesse des ions de recul formés lors de la collision qui présente une très grande efficacité de détection (0,5). Cette technique expérimentale qui permet d'explorer la dynamique des collisions des ions multichargés avec des atomes que ceux-ci soient isolés, situés dans une molécule ou à la surface d'un solide, est décrite dans l'encadré.

Dans le cas des collisions ion - atome, les énergies cinétiques communiquées aux ions de recul sont très faibles ; aussi pour atteindre une bonne résolution, les atomes cibles doivent-ils avoir avant la collision une dispersion de vitesse la plus faible possible. Pour cela, ils sont refroidis par

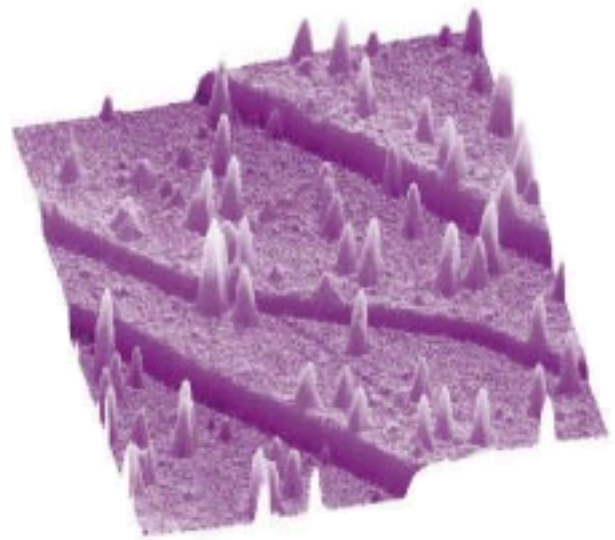


Figure 1 : Surface irradiée aux ions lourds ; les ions de recul permettent de décrire la première étape de la création de ces défauts.

détente adiabatique dans un jet supersonique. Ainsi, l'utilisation simultanée d'une cible froide et d'un détecteur mesurant le temps de vol et la localisation du point d'impact de l'ion de recul a fourni, dès les premières expériences, des

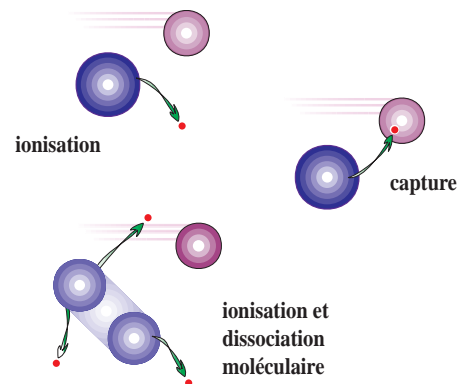
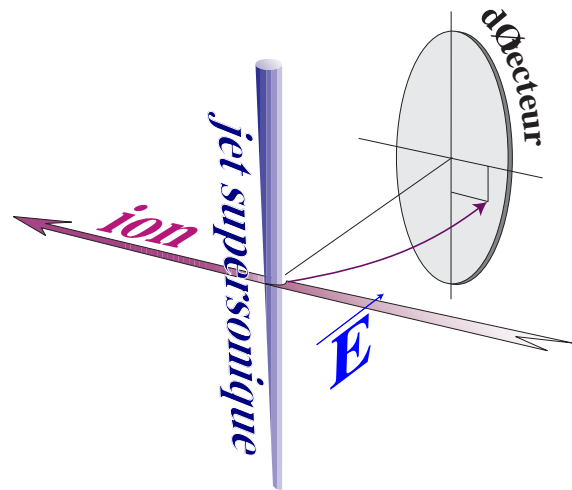


Figure 2 : Lors de collisions ion - atome, une partie de l'énergie cinétique du projectile peut être transférée aux électrons de la cible ou du projectile. Ce transfert d'énergie conduit à des processus primaires tels l'ionisation ou la capture électronique qui sont, par exemple, responsables de la dissociation de cibles moléculaires.

Principe du spectromètre d'ion de recul

La collision se situe dans une région où règne un champ électrique uniforme (E) de l'ordre de 5 V/cm. L'ion projectile arrache quelques électrons à un atome cible du jet supersonique. Cet atome devient dès lors un ion de recul. L'analyse cinématique se ramène au problème élémentaire du mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique. Le temps mis par celle-ci pour arriver sur le détecteur ainsi que la position du point d'impact permettent de remonter à la vitesse initiale de l'ion de recul acquise au cours de la collision. Les faibles énergies (meV) communiquées aux ions de recul font la difficulté de cette technique.



résultats tout à fait nouveaux pour des processus aussi différents que l'ionisation, la capture électronique et la dissociation moléculaire (figure 2). Ce dispositif a, par exemple, permis l'étude du rôle de la corrélation entre électrons dans les collisions ion - atome.

A haute énergie, l'ionisation est le processus principal ; l'ionisation multiple peut même concerner pour des ions très chargés jusqu'à la moitié des événements. En une seule collision, un ion $^{131}\text{Xe}^{44+}$ de 6,7 MeV par nucléon peut arracher plus de dix électrons à un atome d'argon. Grâce à cette expérience, nous avons montré que l'émission simul-

tanée d'un grand nombre d'électrons peut être simplement expliquée par une succession d'ionisations simples et indépendantes au cours d'une même interaction ion - atome (figure 3). Ceci est vrai dans le cas des électrons de valence de l'argon mais ne l'est plus pour les électrons de l'hélium que l'on sait fortement corrélés.

A basse énergie, la capture électronique devient le processus dominant. L'efficacité et la résolution de cette technique ont permis, pour des projectiles aussi difficiles à produire à basse énergie que l'ion $^{40}\text{Ar}^{18+}$, de déterminer sur quels niveaux d'énergie du projectile, l'électron de la cible peut être capturé.

Enfin, la polyvalence de cette technique permet de l'appliquer à l'étude de la dissociation de molécules sous l'impact d'ions multichargés. Dans le cas de la molécule d'eau, nous avons montré l'importance de l'ionisation multiple qui doit être prise en compte dans l'interprétation des expériences de radiolyse par les ions lourds.

Les potentialités de cette technique sont nombreuses. L'application de cette spectroscopie à l'étude de l'interaction ion - surface permettra d'aller plus loin dans la compréhension des modifications des solides par irradiation.

Pour en savoir plus :

P. Jardin « Etude des mécanismes élémentaires de transfert d'énergie au cours d'une collision entre un ion lourd multichargé et un atome neutre » Rapport CEA-R-5700 (1995).

A. Cassimi, S. Duponchel, X. Fléchar, P. Jardin, P. Sortais, D. Hennecart and R.E. Olson « State-selective electron capture in low velocity multiply charged ion - helium collisions » Physical Review Letters 76 (1996) 3679.

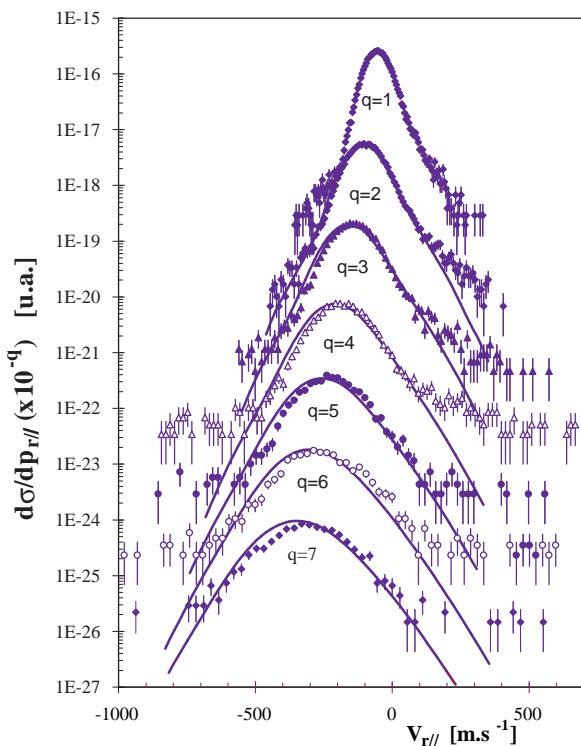


Figure 3 : Distribution de la quantité de mouvement parallèle aux faisceaux communiquée à des atomes d'argon au cours d'une collision avec des ions $^{131}\text{Xe}^{44+}$ de 6,7 MeV par nucléon pour différents degrés d'ionisation des ions Ar. Les lignes continues correspondent au calcul en supposant les électrons indépendants.

Contacts :

Amine Cassimi (CIRIL), 02 31 45 47 52
cassimi@ganil.fr
Lamri Adoui (CIRIL), 02 31 45 47 54
adoui@ganil.fr

Les vésicules aux cheveux de polymères

Les vésicules artificielles sont de véritables réservoirs microscopiques qui seront utilisés dans l'industrie pharmaceutique comme vecteurs de médicament. Leur stabilité ainsi que leurs propriétés étonnantes sont étudiées au Laboratoire Léon Brillouin (LLB) par diffusion de la lumière et par diffraction de neutrons aux petits angles.

Depuis de nombreuses années, on essaye d'utiliser les vésicules (voir encadré) comme vecteurs de médicament, mais leur stabilité dans le corps humain n'est que de quelques minutes, ce qui en diminue fortement l'intérêt. Jusqu'à présent, seule la stabilisation de petites particules solides en suspension a été réalisée. Un des moyens les plus efficaces de lutter contre l'agrégation spontanée de ces particules en suspension dans un solvant est de greffer des chaînes de polymères à leur surface. Les interactions entre couches greffées portées par des parti-

cules voisines peuvent être suffisamment répulsives pour contrebalancer les interactions attractives, et ainsi empêcher le collage. Cette idée très générale a récemment été appliquée, non pas à des particules solides, mais à des vésicules, objets flexibles et déformables.

Ancrer des chaînes de polymères sur une surface déformable conduit aussi à des phénomènes que l'on ne peut observer avec des surfaces indéformables. Les chaînes peuvent affecter l'arrangement des vésicules, leurs formes, leurs fluctua-

Les vésicules : cellules artificielles modèles ?

Comme les cellules vivantes, les vésicules sont composées d'une membrane fermée contenant un liquide. La membrane est formée d'une bicouche de molécules de tensioactifs, eux-mêmes composés d'une tête polaire hydrophile, et d'une queue carbonée hydrophobe. Un tel système permet d'isoler du milieu extérieur le liquide contenu dans la vésicule. Il se comporte alors comme un microréservoir de taille comprise entre 20 et 500 nm de diamètre.

Du fait de l'agitation thermique, et de la faible rigidité de la membrane, le contour de la vésicule ne reste pas figé, mais fluctue autour d'une forme moyenne (figure 1).



Photo : Vésicules observées par microscopie électronique (L. Auvray et V. Poncinet)

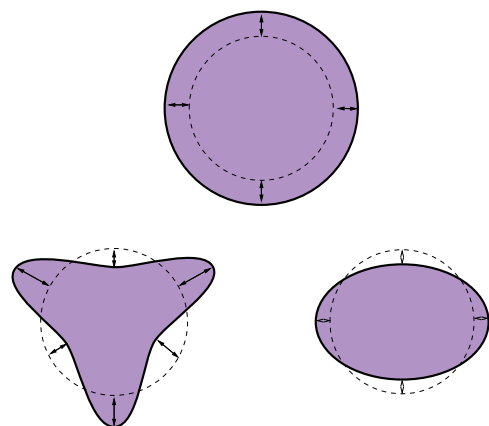


Figure 1 : Représentation schématisée de quelques modes d'ondulation de la sphère

tions, leurs propriétés élastiques et leur agrégation. Ceci conduit à une variété de comportements bien connus théoriquement, mais qui commencent seulement à être explorés expérimentalement.

La diffraction des neutrons et la diffusion de la lumière permettent de déterminer la structure et la dynamique de ces systèmes. Au LLB, nous nous sommes intéressés à des systèmes de vésicules assez petites (dans la gamme 20 - 500 nm de diamètre) formées spontanément à l'équilibre thermodynamique, et dont les tailles sont bien adaptées à

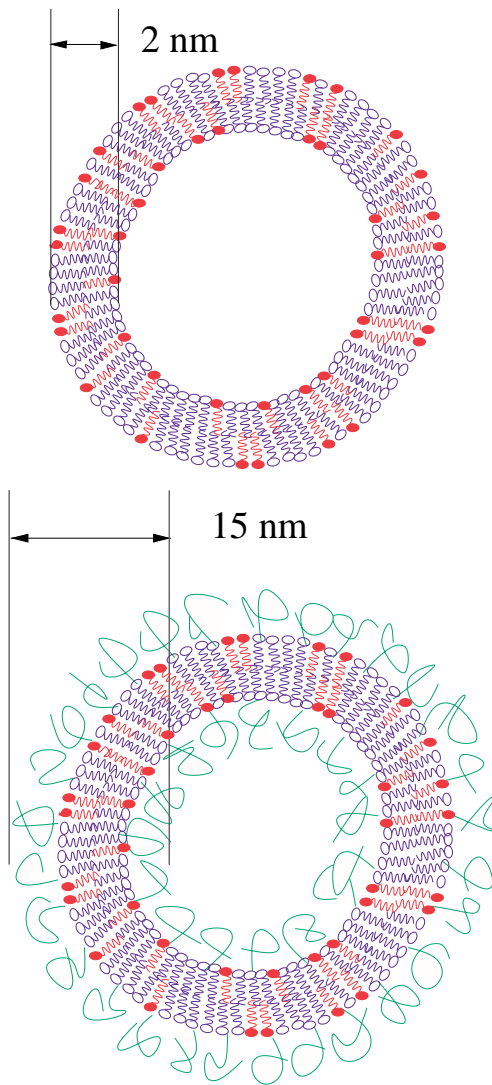


Figure 2 : Vue schématique d'une coupe de la membrane formée d'une bicouche de molécules avec et sans polymères

ces deux techniques de mesure. En diffraction de neutrons, la méthode dite de "variation de contraste" nécessitant l'utilisation de molécules deutérées, permet de séparer le signal de diffusion du polymère et de la membrane. Nous avons choisi le système composé de vésicules dans de l'eau dont la membrane est constituée de sodium dodécyle sulfate (SDS) et d'octanol. Alors que les vésicules SDS-octanol n'existent que pour une proportion bien définie du mélange SDS-octanol, et sont facilement détruites par des variations de température, les mêmes vésicules couvertes de polymères greffés restent stables dans un grand domaine de composition et de température (entre 10 et 60°C). Par ailleurs, le polymère modifie beaucoup la structure et

les fluctuations des vésicules. La diffusion de la lumière et la microscopie électronique révèlent une grande dispersion de forme et de taille des vésicules nues. Au contraire, les vésicules chevelues (vésicules coiffées de polymères) sont pratiquement sphériques et monodisperses. Le choix de la composition combinée avec l'utilisation de traitements thermiques particuliers permet de faire varier à volonté le rayon des vésicules entre 15 et 120 nm ; le temps nécessaire à cette transformation peut atteindre la journée.

Les membranes apparaissent saturées en polymères dès que la distance moyenne entre chaînes est de l'ordre de leur rayon de giration (longueur caractéristique de l'encombrement d'un polymère), soit environ 4 nm. Le polymère se répartit de chaque côté de la bicouche, et l'épaisseur totale des couches de polymères à saturation est d'environ 15 nm, à comparer aux 2 nm de la membrane sans polymères. Cet accroissement de l'épaisseur de la membrane n'entraîne pas un blocage complet du système : En effet, bien que la forme et la taille de ces vésicules chevelues soient en moyenne très bien définies, elles sont néanmoins susceptibles de fluctuer autour de leur moyenne (mouvements de respiration ou d'ondulations de surface). La dynamique de ces fluctuations a été observée par diffusion quasi-élastique de la lumière. Elle est bien décrite par une analyse en modes de vibrations. On montre ainsi que les membranes couvertes de polymères ne sont pas plus rigides que les membranes nues. Apparemment, le polymère se contente de favoriser une courbure préférentielle de la membrane sans la rigidifier. La dynamique des échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la vésicule devrait être peu modifiée.

Des systèmes similaires ont permis de stabiliser des vésicules dans le sang pendant plusieurs heures et sont très prometteurs pour une utilisation médicale. Beaucoup reste à faire pour comprendre en détail la physique de tels systèmes.

Pour en savoir plus :

Liposomes, from Physics to applications, D.D. Lasic, Elsevier, 1993.

Contact :

L. Auvray(LLB) 01 69 08 62 27
Lauvray@cea.fr

Phases magazine

La lettre du DRECAM et du SPhT

Directeur de la Publication : F. Gounand

Comité de Rédaction :

S. Ayrault (LPS) ; L. Barbier (SRSIM) ;
S. Bouffard (CIRIL) ; L. Boyer (DIR) ;
C. Fermon (SPEC) ; M. Gingold (SPhT) ;
A. Menelle (LLB) ; M. Mons (SPAM) ;
H. Pascard (LSI) ; E. Soulié (SCM) ;

Réalisation : L. Boyer, C. Fermon

Impression : Impact Graphic

ISSN N°1276-8650 Dépôt légal 4ème trimestre 1997