

CHOC AVEC LE DEUTON

P. CHAU HUU-TAI, J.-M. LABORIE, X. LEDOUX, B. MORILLON, C. VARIGNON
CEA - DAM - Ile-de-France

La mesure et le calcul des sections efficaces des réactions impliquant un deuton (noyau de deutérium) se heurtent à des difficultés provenant de la nature même de ce noyau : il s'agit d'un système composite formé d'un neutron et d'un proton faiblement liés. Lors du choc avec un nucléon ou avec un noyau, la paire neutron-proton peut se casser, et il faut être capable de mesurer ou de calculer les effets de cette cassure sur les sections efficaces. Notre équipe a mené des expériences et développé des modèles théoriques pour déterminer l'effet de cette cassure lors de réactions nucléaires.

L'étude des noyaux exotiques et les calculs de neutronique nécessitent une connaissance précise des sections efficaces deuton-nucléon et deuton-noyau.

Réactions deuton-nucléon

Les calculs de réactions avec trois nucléons ont aujourd'hui atteint un haut degré de précision et de cohérence. C'est le cas de l'interaction d'un neutron avec le deuton. La méthode utilisée est celle des équations de *Faddeev-Yakubovsky* [1], et l'interaction nucléon-nucléon est décrite par le modèle simplifié de *Malfliet et Tjon I-III*, ou par le modèle plus réaliste *Av18*. Les sections efficaces sont obtenues à partir des "amplitudes de *Faddeev*", grâce auxquelles il est possible de prendre en compte précisément les corrélations angle-énergie entre les deux neutrons et le proton issus de la cassure du noyau de deutérium. L'ensemble de ces sections efficaces constitue l'évaluation du CEA - DAM, qui, contrairement à la plupart des évaluations existantes, permet de décrire exactement la propagation des neutrons dans les milieux deutérés.

D'une part, entre cette évaluation de la section efficace de cassure du deuton, et l'évaluation américaine [2] notamment, nous observons des écarts allant jusqu'à 30 % entre le seuil de la réaction et 30 MeV. D'autre part, les données expérimentales, bien que relativement abondantes au-dessous de 15 MeV, sont quasi inexistantes au-dessus. Enfin, ces données datent des années 60-70, et les incertitudes sont souvent mal connues ou importantes (10 à 30 %).



Figure 1
Le détecteur CARMEN (boule jaune) permet de compter le nombre de neutrons émis lors d'une réaction nucléaire.

Pour mesurer la section efficace de cette réaction, nous avons donc développé un programme expérimental auprès de l'accélérateur tandem 7 MV du CEA - DAM. Un scintillateur C_6D_6 a été utilisé comme cible de deutérium. Il permet la mesure de l'énergie des neutrons incidents par la méthode du temps de vol. Les deux neutrons de la réaction ont été identifiés grâce au détecteur CARMEN (figure 1) [3]. De cette manière, nous avons pu sélectionner, dans les données enregistrées, les événements correspondant à la cassure du deuton, et extraire la section efficace correspondante. L'expérience démarrée en 2005 s'est terminée fin 2007. Les résultats sont présentés sur la figure 2, avec notamment des points inédits au-delà de 22 MeV [4]. Nos deux calculs sont en accord avec ces résultats, compte tenu des incertitudes. La poursuite de l'analyse des données, ainsi qu'une connaissance plus fine des détecteurs devraient conduire à une réduction sensible des incertitudes.

Réactions deuton-noyau

Dans le cas des réactions deuton-noyau, le nombre de nucléons impliqués devient vite trop grand pour que nous puissions résoudre exactement le problème à N-corps. Il faut faire des approximations, tout en tenant compte des spécificités du deuton. La méthode dite

CDCC traite explicitement la voie élastique et les voies de cassure, et inclut automatiquement les phénomènes d'interférence entre ces voies dans le calcul des sections efficaces.

Elle a d'abord été utilisée sur l'ensemble des noyaux sphériques et quasi-sphériques [5]. Les calculs sont en bon accord avec les résultats expérimentaux.

Elle a ensuite été étendue aux noyaux rotateurs. Lors du choc avec le deuton, les noyaux déformés peuvent être mis en rotation, et ces voies de réaction entrent en compétition avec la cassure du deuton. Elles sont donc à prendre en considération dans le calcul des sections efficaces. À titre d'exemple, nous avons étudié les réactions sur une cible de ^{24}Mg , noyau qui ressemble à un ballon de rugby. Les informations sur sa déformation [6] servent d'ingrédient de départ pour le calcul des sections efficaces. Sur la figure 3, les sections efficaces différentielles élastique et inélastique sur le premier niveau excité sont tracées, respectivement à gauche et à droite. Les points représentent les données expérimentales, les courbes rouge et grise correspondent, respectivement, à un calcul avec et sans les voies de cassure. Nous observons un meilleur accord entre les calculs et les mesures lorsque nous tenons compte de la cassure.

La méthode n'ayant pas de paramètre ajustable permet de faire des prédictions, même pour des noyaux pour lesquels il n'y a pas de données expérimentales.

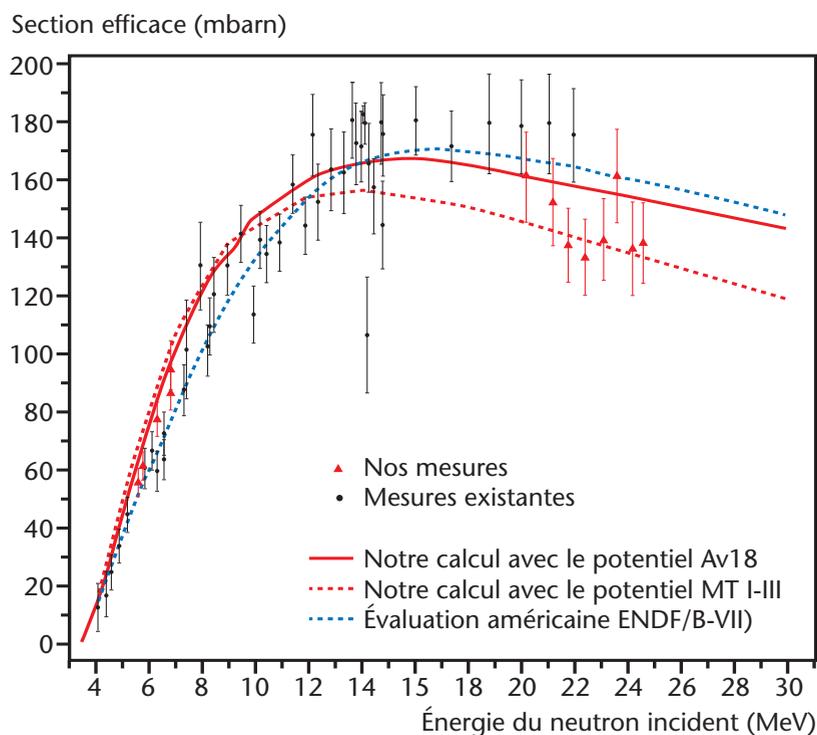


Figure 2
Section efficace de la réaction de cassure du deuton induite par neutron, aussi appelée réaction $(n,2n)$ sur le deutérium.

Conclusion

Les spécificités des réactions sur le deuton ont été étudiées expérimentalement et théoriquement. D'un point de vue expérimental, nous avons mesuré des valeurs inédites de la section efficace $d(n,2n)p$ sur une large gamme en énergie. Sur le plan théorique, nous avons mis en œuvre les méthodes les plus modernes : pour les réactions deuton-neutron, le problème quantique à trois-corps a été résolu. Pour les réactions deuton-noyau, nos calculs incluent explicitement le phénomène de cassure du deuton, ce qui améliore la qualité des prédictions.

Références

- [1] M. B. CHADWICK et Al., "ENDF/BVII.0: Next generation evaluated nuclear data library for nuclear science and technology", *Nucl. Data Sheets*, **107**, p. 2931-3060 (2006).
- [2] R. LAZAUSKAS, J. CARBONELL, "Testing nonlocal nucleon-nucleon interactions in four-nucleon systems", *Phys. Rev. C*, **70**, p. 044002 (2004).
- [3] X. LEDOUX et Al, "An improved experimental set-up for (n,xn) reaction studies", Proceedings of the International Workshop on Fast Neutron Detectors and Applications, University of Cape Town (3-6 April 2006).
- [4] J.-M. LABORIE et Al, "Measurement of the D(n,2n)p reaction cross section up to 30 MeV", Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 2007, Nice (22-27 Avril 2007).
- [5] P. CHAU HUU-TAI, "Systematic study of elastic and reaction cross sections of deuteron induced reactions within the CDCC approach", *Nuclear Physics A*, **773**, p. 56-77 (2006).
- [6] M. GIROD, S. HILAIRE, <http://www-phynu.cea.fr/>.

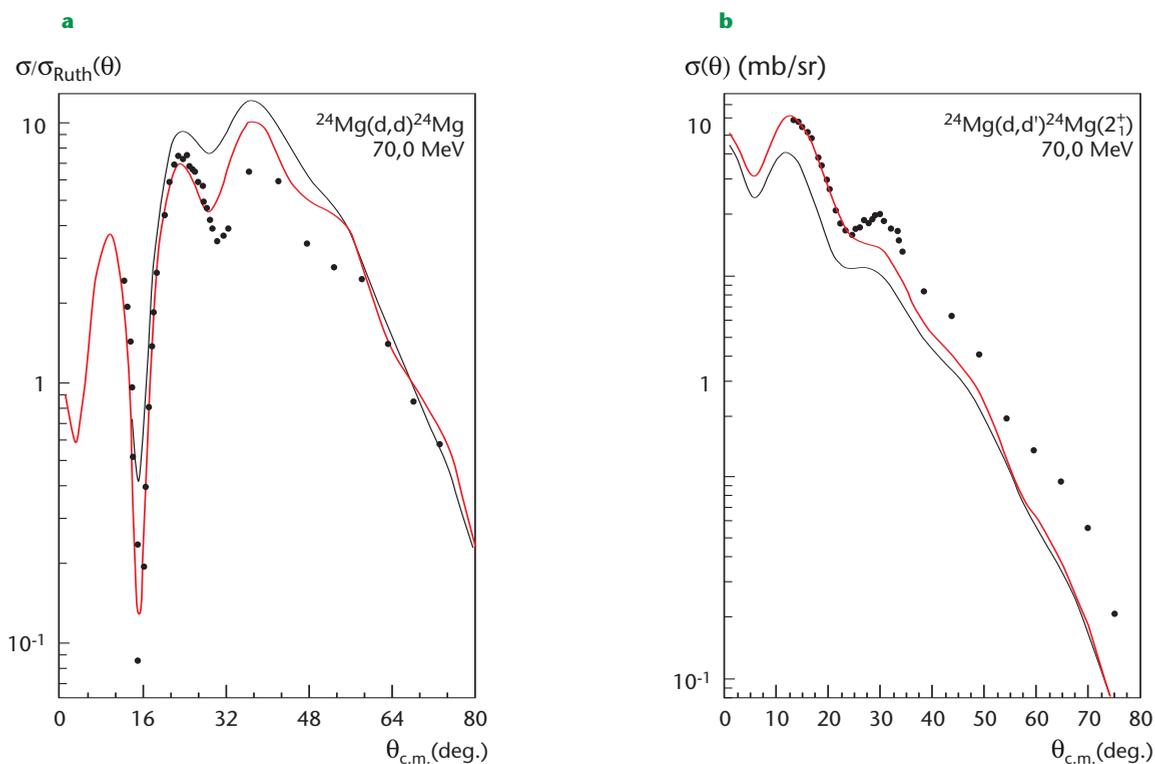


Figure 3
 Sections efficaces différentielles élastique (a) et inélastique (b) d'un deuteron incident sur du ^{24}Mg à 70 MeV.
 Les points correspondent aux données expérimentales.
 Les courbes représentent les résultats des calculs CDCC : la courbe grise a été obtenue sans tenir compte de la brisure du deuton, la courbe rouge montre le résultat obtenu en tenant compte de cette brisure.