

# DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX SCINTILLATEURS POUR LES DIAGNOSTICS PLASMA DU LASER MÉGAJOULE

Dans le cadre du projet Laser Mégajoule, la cible de fusion par confinement inertiel, remplie d'un mélange de deutérium-tritium, libérera une grande variété de rayonnements, comme des rayons X et gamma ainsi que des neutrons. Les premiers étant rapidement suivis par les seconds, les détecteurs chargés d'enregistrer les signaux expérimentaux devront avoir une résolution temporelle de l'ordre de la nanoseconde. Les systèmes de détection basés sur la conversion du rayonnement X vers le visible doivent éviter le rayonnement parasite Cerenkov induit par le passage des particules chargées au sein même du détecteur; en effet, ce rayonnement émet dans le bleu et rend impossible l'utilisation d'instruments dans cette gamme spectrale. D'où le besoin de nouveaux scintillateurs plastiques à temps de réponse rapide, émettant dans le rouge avec un rendement lumineux suffisant.

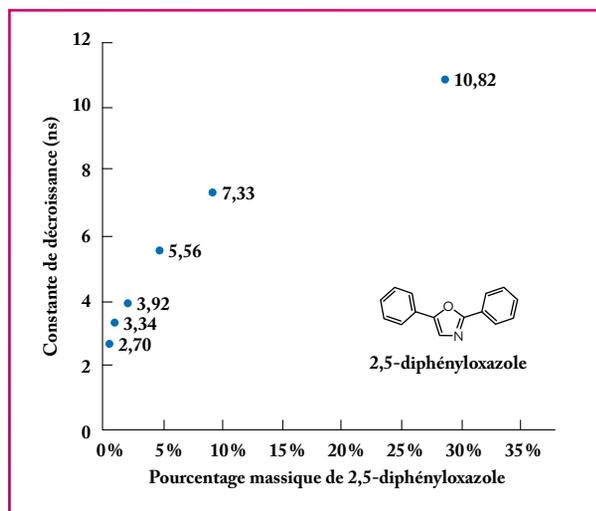
Lors de l'implosion d'une cible de fusion par confinement inertiel est émis un rayonnement X, caractéristique de son échauffement et donc important à mesurer, ainsi que des rayonnements gamma et neutrons, caractéristiques des réactions nucléaires en jeu. Un tel environnement radiatif impose d'installer les instruments de mesure loin de la cible et nécessite de convertir ce rayonnement X en lumière visible, plus facile à transporter. Cette étude porte sur la création d'un composant capable d'assurer cette conversion et sur son paramétrage en termes de longueur d'onde d'émission spectrale maximale ( $\lambda_{em}^{max}$ ), de temps de décroissance ( $\tau$ ) et de rendement lumineux ( $R$ ).

La conversion du rayonnement X en lumière visible (380-780 nm) est rendue possible par l'utilisation de scintillateurs, matériaux fluorescents liquides ou plastiques présentant la capacité d'émettre de la lumière lorsqu'ils sont soumis à un rayonnement ionisant. Ils sont constitués d'une matrice, généralement un solvant organique pour les liquides ou un polymère comme le polystyrène pour les plastiques, dont le rôle est d'absorber le rayonnement X et de le réémettre dans l'UV. Cette matrice contient plusieurs molécules fluorescentes spécifiques, les fluorophores, capables d'assurer une cascade de processus d'absorption-émission à

partir du rayonnement UV initial jusqu'à la longueur d'onde retenue pour effectuer les mesures. On y trouve également une molécule dont le rôle est d'accélérer la fluorescence des fluorophores selon des processus photochimiques complexes. La nature de chaque molécule et sa concentration relative sont des critères à étudier pour optimiser le rendement lumineux du scintillateur.

La difficulté première dans l'optimisation d'un scintillateur vient du fait qu'une amélioration de la réponse temporelle va de pair avec une diminution du rendement lumineux, c'est-à-dire de sa capacité à convertir l'énergie des particules incidentes **1**. Des performances acceptables ont été atteintes sur des scintillateurs liquides **2** mais pas plastiques **3**. Un scintillateur répondant à notre cahier des charges n'existant pas dans le commerce, il est donc nécessaire d'en développer un par nos propres moyens.

Le nouveau scintillateur doit opérer dans un domaine spectral éloigné du bleu, caractéristique de l'émission parasite Cerenkov; aussi un composant émettant dans la partie rouge du spectre ( $\lambda_{em}^{max} \sim 600-650$  nm) semble-t-il adéquat. Concernant les paramètres  $\tau$  et  $R$ , le scintillateur du commerce BC-422Q a été pris comme référence, l'objectif retenu pour le nouveau scintillateur étant d'atteindre la



**Figure 1**

➔ Comportement de la constante de décroissance de photoluminescence, en nanosecondes, de la molécule de 2,5-diphényloxazole (représentée en bas à droite) dans un solvant organique liquide (ici, le toluène), en fonction de sa concentration exprimée en pourcentage massique. L'influence de la concentration sur la réponse temporelle de la lumière est clairement visible : moins la quantité de 2,5-diphényloxazole est importante, plus la réponse du scintillateur est rapide.

moitié de son rendement lumineux et un temps de décroissance compris entre 1 ns, valeur affichée pour le BC-422Q, et 7 ns, valeur classique pour un scintillateur plastique. Enfin, sa densité et ses dimensions doivent être choisies judicieusement pour qu'il soit plus sensible au rayonnement X qu'aux rayons gamma et aux neutrons.

Dans le cadre de cette étude, des scintillateurs liquides (plus faciles à préparer), puis plastiques ont été synthétisés. C'est en phase liquide que les paramètres génériques sont déterminés dans un premier temps : choix des molécules fluorescentes, de la

molécule accélératrice de la fluorescence et de leur concentration. L'influence de la concentration de la molécule accélératrice sur la réponse temporelle de la lumière a été mesurée et est visible sur la **figure 1**.

Lorsque le choix de la concentration est validé en phase liquide, il est réajusté en phase plastique, l'analogie entre les deux phases n'étant pas totale **4**. Pour les plastiques, après chauffage du monomère contenant les molécules adéquates et sa polymérisation complète, le matériau brut est découpé et poli jusqu'à obtenir un scintillateur de diamètre 49 mm

et d'épaisseur 10 mm (**figure 2**). Une matrice de polystyrène a ainsi été choisie, avec le 2,5-diphényloxazole et le rouge de Nil comme molécules fluorescentes, et la di-isopropyléthylamine comme molécule accélératrice de la fluorescence.

Le **tableau 1** donne les résultats obtenus pour quatre échantillons du nouveau scintillateur plastique (**figure 2**). Les quatre échantillons émettent bien dans le rouge et un rendement lumineux satisfaisant, de 300 photons par MeV, a été obtenu pour l'échantillon 3 ; en même temps, le temps de décroissance a été mesuré comme étant inférieur à 7 ns pour chacun des échantillons. Cette étude de faisabilité constitue une première étape nécessaire à la réalisation d'un prototype d'instrument susceptible d'être intégré aux diagnostics du Laser Mégajoule.

La possibilité d'obtenir des scintillateurs plastiques émettant dans le rouge ( $\lambda_{em}^{max} \sim 610-620$  nm), rapides ( $\tau < 7$  ns) et avec un rendement lumineux satisfaisant (300 photons/MeV) a ainsi été démontrée. Ces travaux seront poursuivis, en particulier pour que le temps de décroissance soit plus proche de la nanoseconde.

Échantillon	$\lambda_{em}^{max}$ (nm)	R (ph/MeV)
BC-422Q 2 %	406	760
#1	620	160
#2	610	70
#3	618	300
#4	616	80

**Tableau 1**

➔ Longueur d'onde maximum d'émission  $\lambda_{em}^{max}$  et rendement lumineux R des échantillons 1 à 4 (**figure 2**) comparés à ceux du scintillateur plastique du commerce BC-422Q. Le temps de décroissance a été mesuré à moins de 7 ns pour chacun d'eux.



**Figure 2**

➔ Photographie de quatre échantillons d'un nouveau scintillateur plastique émettant dans le rouge développé par le CEA. Les bonnes performances obtenues sont données dans le **tableau 1**.

## RÉFÉRENCES

- 1 B. BENGTON *et al.***, "Study of primary energy transfer process in ultrafast plastic scintillators", *Nucl. Instr. Methods*, **155**, p. 221-231 (1978).
- 2 J.-M. FLOURNOY *et al.***, "New Red-Emitting Liquid Scintillators with Decay Times Near One Nanosecond", *Proc. of the International Conference on New Trends in Liquid Scintillation Counting and Organic Scintillators*, Gatlinburg, USA, October 2-5, 1989, H. Ross, J. E. Noakes, J. D. Spaulding (Eds), Lewis Publishers, p. 83-91 (1991).
- 3 I. B. BERLMAN *et al.***, "A fast red-emitting plastic scintillator", *Nucl. Instr. Methods*, **178**, p. 411-413 (1980).
- 4 M. HAMEL *et al.***, "Red-emitting liquid and plastic scintillators with nanosecond time response", *J. Lumin.*, **190**, p. 511-517 (2017).