

EURITRACK, une recherche appliquée à la sécurité des conteneurs maritimes

JL. SZABO¹, B. PEROT², G. SANNIE³, C. CARASCO², S. BERNARD², A. MARIANI², T. ROLL¹

¹CEA, LIST, Gif sur Yvette, F-91191, France

²CEA/DEN/LMN, Commissariat à l'Energie Atomique, Centre de Cadarache, 13108 St Paul-lez-Durance

³CEA, LIST, Département des Technologies du Capteur et du Signal, Gif sur Yvette, F-91191, France

jean.louis.szabo@cea.fr, bertrand.perot@cea.fr, guillaume.sannie@cea.fr

Résumé - EURITRACK est un projet européen du 6^{ème} Programme Commun de Recherche et de Développement visant à accroître la sécurité des ports maritimes au travers du développement d'un kit de contre-mesures au trafic illicite. Le démonstrateur développé permet de détecter de manière non intrusive des explosifs ou autres substances à risques dissimulées dans des conteneurs maritimes grâce à un système innovant d'inspection neutronique validé sur un site industriel en Croatie.

Abstract - EURITRACK project aims to develop a system for rapid and non-destructive detection and analysis of explosives or other high-risk substances hidden in containers. It is a neutron detection system to analyse the chemical composition of suspect containers. By favouring fast, complete analysis of the chemical elements detected inside the container, EURITRACK will provide inspectors with a high-performance tool which will reduce the number of manual inspections involving unloading, thereby reducing operational costs, saving time and increasing safety

1 Contexte international

Le transport maritime est une industrie internationale qui revêt une importance cruciale : 95% de la cargaison mondiale est transportée par bateau, soit plus de 200 millions de conteneurs échangés tous les ans entre les principaux ports maritimes. Le total des conteneurs maritimes transitant parmi les principaux ports européens atteint 40 millions de TEU (Twenty Equivalent Feet Unit) par an.

2 EURITRACK dans l'environnement européen

2.1 Le projet EURITRACK

EURITRACK est un projet européen du 6^{ème} Programme Commun de Recherche et de Développement visant à accroître la sécurité des ports maritimes au travers du développement d'un kit de contre-mesures aux trafics illicites. Le démonstrateur développé permet de détecter de manière non intrusive des explosifs ou autres substances à risques dissimulées dans des conteneurs maritimes grâce à un système innovant d'inspection neutronique.

2.2 Description de la méthode

La méthode utilisée repose sur la mesure des rayonnements gamma prompts émis à la suite de réactions de neutrons rapides sur les noyaux des matériaux inspectés (diffusions inélastiques notamment). L'énergie des raies gamma émises en réponse à l'excitation du noyau par les neutrons est caractéristique de l'élément chimique interrogé. L'analyse du spectre énergétique d'un élément de volume inspecté par cette technique permet ainsi de remonter à sa composition chimique.

La plupart des explosifs ayant des proportions en carbone, oxygène, azote et hydrogène particulières (riches en oxygène et azote), il est possible de les différencier des autres matières organiques inoffensives (plus pauvres en oxygène et azote) grâce aux proportions relatives de ces quatre principaux éléments.

Dans le système EURITRACK, on utilise généralement les rapports C/O et C/N pour cette différenciation, l'hydrogène n'émettant pas de rayonnement gamma lors de l'interrogation par neutrons rapides.

La détection de la particule alpha fournie l'angle d'émission du neutron et le temps de vol du neutron est déduit par la coïncidence alpha-gamma. A partir de la direction d'émission du neutron et du temps de vol, il est possible de remonter à la position de l'interaction dans l'objet inspecté. L'énergie de la raie gamma associée apporte quant à elle une information sur l'élément ayant

subit la réaction neutronique, voir figure 1.

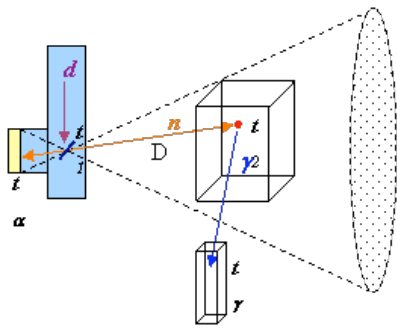


FIG. 1 : schéma de principe de la méthode de la particule associée.

2.3 Design du système de mesure

Le dispositif est constitué :

- du générateur de neutron à particule associée, équipé d'un détecteur alpha pixellisé (matrice de 8x8 scintillateurs YAP:Ce) ;
- de 22 détecteurs gamma ;
- d'un détecteur neutronique ;
- d'un système électronique d'acquisition et de traitement du signal ;
- d'un système informatique de pilotage du dispositif et de l'acquisition, de centralisation et d'analyse des données.

Au cours d'une inspection, le camion transportant le conteneur est stoppé de manière à aligner le générateur de neutrons et la région à inspecter. Les ensembles émission et transmission sont alors alignés verticalement à la hauteur de l'élément de volume suspect.

Au cours d'une inspection, le camion transportant le conteneur est stoppé de manière à aligner le générateur de neutrons et la région à inspecter. Les ensembles émission et transmission sont alors alignés verticalement à la hauteur de l'élément de volume suspect.

2.3.1 Le générateur de neutrons à particule associée

Le générateur utilisé est composé d'un tube scellé, dans lequel se produit la réaction de fusion deutérium-tritium productrice du neutron de 14 MeV et de la particule alpha associée, et d'un détecteur alpha pixellisé.

Le tube scellé a été réalisé par la société SODERN, partenaire du projet EURITRACK.

Le détecteur alpha représenté sur la Fig. 2 a été développé par l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), partenaire italien du projet [1]. Il est composé d'une matrice de 8x8 scintillateurs de type

YAP(Ce), Le détecteur alpha ainsi constitué définit 64 cônes d'émission de neutrons signés.

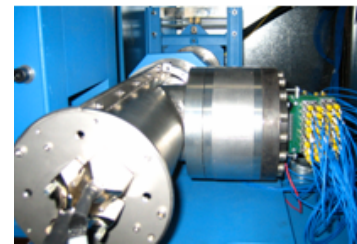


FIG. 2 : détecteur alpha monté sur le générateur de neutrons.

2.3.2 Les détecteurs gamma

Des cristaux scintillateurs de grand volume à l'iodure de sodium dopé au thallium NaI(Tl), voir Figure 3, ont été choisis et approvisionnés par le CEA puis testés par le *Soltan Institute of Nuclear Studies* (IPJ, Pologne). Couplés à des photomultiplicateurs rapides, ils permettent d'atteindre la résolution temporelle attendue, typiquement 2 ns mesurée en laboratoire [2]. Les plus volumineux, dont les cristaux ont des dimensions de 5''x5''x10'' (12,7 cm x 12,7 cm x 25,4 cm), présentent une efficacité intrinsèque supérieure à 30% pour le pic d'absorption totale en dessous de 8 MeV (nombre de photons déposant toute leur énergie, par photon entrant). Quant à la résolution en énergie, elle est de l'ordre de 5% à 4.44 MeV (raie gamma du carbone).



Figure 3: Détecteurs Gamma

2.3.3 L'électronique d'acquisition et de traitement du signal

L'électronique d'acquisition et de traitement du signal a été conçue et réalisée par la société italienne CAEN (Costruzioni Apparecchiatur Elettroniche Nucleari), partenaire du projet, en collaboration avec l'INFN [3]. Elle permet de détecter les coïncidences entre n'importe

quelle paire (ou groupes) de détecteurs alpha et gamma, de mesurer les temps de coïncidence alpha-gamma et l'énergie des photons.

2.3.4 Le portique d'inspection

Les performances du système d'interrogation neutronique ont été évaluées lors de différentes phases d'essais en laboratoire, à l'IRB Zagreb [4] puis au CEA Saclay.

Le portique d'inspection est implanté sur le port de Rijeka (Croatie) pour les essais finaux de démonstration avec des conteneurs réels.

Les tests préalables à l'inspection de conteneurs réels ont permis de calibrer le système de mesure et de déterminer ses performances avec des chargements de marchandises (métallique, organique, hétérogène) et des cibles dissimulées à l'intérieur (eau, graphite, papier, fer, aluminium, acétate d'ammonium, etc.) parfaitement caractérisées.



Figure 4 : le portique d'inspection.

3 Performances du système EURITRACK

3.1 Essais avec un simulant d'explosif

Le cas de référence constituant le critère de réussite du projet EURITRACK a été constitué. Il consiste à détecter une cible équivalente à 100 kg de TNT, Figure 5, dissimulée au milieu d'une matrice métallique de masse volumique moyenne 0.2 g/cm^3 . Cette dernière a été constituée par des boîtes en fer remplies de pelote de fil de fer. Le TNT ($\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$

) a quant à lui été simulé par de l'acétate d'ammonium, de formule chimique voisine ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$) en ce qui concerne les proportions en carbone, azote et oxygène.

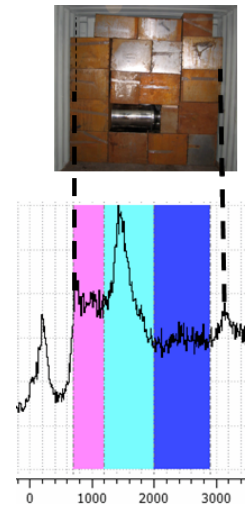


Figure 5 : Mesure d'un simulant d'explosif dans un conteneur

La Figure 6 montre un exemple de déconvolution d'un spectre mesuré. La déconvolution permet ainsi de déterminer leurs proportions respectives dans le spectre mesuré, puis de remonter aux proportions chimiques.

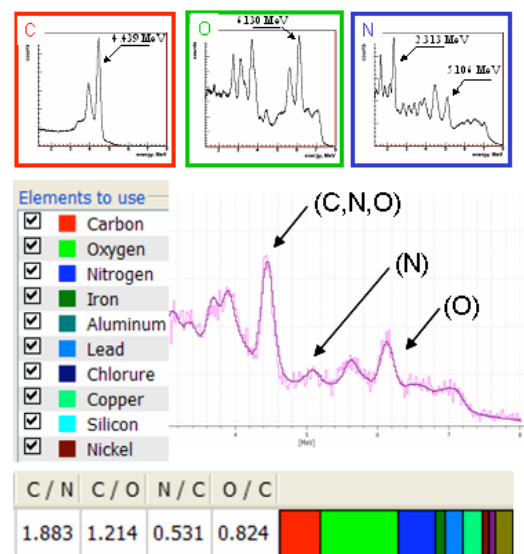


Figure 6 : Les signatures individuelles des éléments d'intérêt (C,O,N) et leurs proportions dans le spectre mesuré sont indiquées en rouge, vert et bleu.

La dernière étape Figure 7 consiste à situer le matériau inspecté dans un graphique des ratios C/O versus C/N, où l'acétate d'ammonium apparaît bien dans la zone des explosifs, à proximité du point correspondant à sa composition chimique réelle.

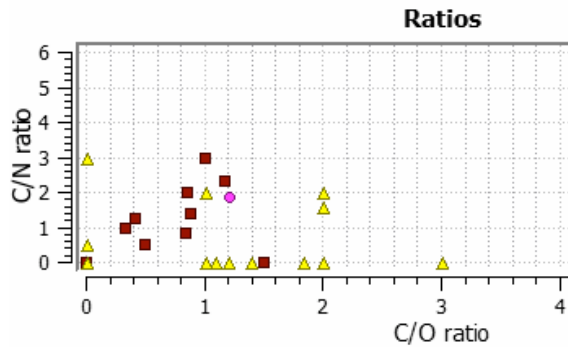


Figure 7 : Ratio C/N et C/O

3.2 Essais avec des conteneurs réels

Une cinquantaine de conteneurs réels ont été inspectés à ce jour avec le système EURITRACK [5] couplé à un scanner à rayons X de haute tension 300 kV sur le port maritime de Rijeka, en Croatie. Les spectres obtenus avec le TNIS en 10 minutes de mesure permettent de confirmer l'homogénéité du chargement (décroissance régulière du signal due à l'atténuation du faisceau neutronique) et sa nature, le ratio chimique mesuré étant cohérent. Il a été possible de valider la nature des marchandises des conteneurs remplis par un matériau unique et bien identifié (coton, bois, textile en polyester, papier). Ces résultats sont résumés dans le tableau ci-joint.

Tableau 1 : Conteneurs dont la nature du chargement a été validée à l'aide du système EURITRACK

Numéro du conteneur	Matériau	C/O théorique	C/O mesuré
1	Bois	1.83	1.9 +/- 0.7
2	Coton	1.39	1.5 +/- 0.2
4	Bois	1.83	1.7 +/- 0.5
10	Bois	1.83	1.9 +/- 0.4
11	Coton	1.39	1.4 +/- 0.3
15	Bois	1.83	2.0 +/- 0.4
16	Coton	1.39	1.7 +/- 0.2
17	Bois	1.83	1.8 +/- 0.1
31	Coton	1.39	1.6 +/- 0.2
33	Bois	1.83	1.8 +/- 0.3
34	Polyester	3.00	3.2 +/- 0.2
36	Polyester	3.00	2.7 +/- 0.2
44	Bois	1.83	1.7 +/- 0.3
51	Papier	1.20	1.2 +/- 0.2

4 Conclusion et perspectives

Le projet EURITRACK a rempli le contrat fixé par la Commission Européenne qui a autorisé d'étendre sa durée à la fin du mois de février 2008. Il a par ailleurs reçu le prix de l'Innovation Technologique 2007 dans le domaine de la sécurité civile décerné par le Haut Comité Français pour la Défense Civile.

Le concept doit aussi pouvoir être étendu à d'autres formes de matières prohibées ou dangereuses telles que les drogues, les mines, certains produits chimiques, etc. Le démonstrateur implanté sur le port de Rijeka permet de définir les spécifications d'un futur système industriel ainsi que les conditions d'emploi sur site. Néanmoins, il reste à améliorer le logiciel d'aide à la décision par une base de données plus importante sur les conteneurs et par l'apport d'algorithmes d'intelligence artificielle afin de rendre l'outil opérationnel pour les autorités compétentes en matière de lutte contre le trafic illicite.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tous les collaborateurs du Consortium.

Références

- [1] S. Pesente et al., *Progress in Tagged Neutrons Beams for Cargo Inspections*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 261 (2007) 268.
- [2] M. Gierlick et al., *Comparative study of large NaI(Tl) and BGO scintillators for the EUROpean Illicit TRAfficking Countermeasures Kit project*, IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 53, n°3 (2006) 1737.
- [3] M. Lunardon et al., *Front-end electronics and DAQ for the EURITRACK Tagged Neutron Inspection System*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 261 (2007) 391.
- [4] C. Carasco et al., *The EURITRACK project: experimental tests of a Tagged Neutron Inspection System for cargo containers*, NEMEA-3, 3rd Workshop on Neutron Measurements, Evaluations and Applications, Borovets (Bulgaria), 25-28 October 2006. European Commission report EUR 22794 EN (2007) 57.
- [5] G. Viesti et al., *Scanning Cargo Containers with Tagged Neutrons*, in VII LASNPA, Seventh Latin American Symposium on Nuclear Physics and Applications, Cusco, Peru, June 11-16, 2007.