

BINGO : Briques pour une Imagerie Neutron Gamma Opérationnelle

Miguel LHUISSIER¹, Isabelle LEFESVRE¹, Philippe LE TOURNEUR¹, Karim SOUDANI¹

¹SODERN, 20 avenue Descartes, 94450 Limeil-Brévannes Cedex

miguel.lhuissier@sodern.fr, isabelle.lefesvre@sodern.fr, philippe.letourneur@sodern.fr, karim.soudani@sodern.fr

Résumé – Le projet BINGO s’inscrit dans le contexte de la menace terroriste nucléaire, radiologique, chimique ou explosive (NRCE) et de la réponse technique que les technologies d’interrogation neutronique peuvent apporter dans les équipements de détection de ces menaces. Il a pour objectif de développer des briques, ou éléments technologiques, nécessaires à la réalisation d’un équipement (ULIS) de détection de matières illicites ou dangereuses (NRCE) cachées dans des objets comme un colis ou un bagage.

Cet équipement portable équiperait les équipes d’intervention étatiques ou institutionnelles appelées en cas d’alerte sur un bagage suspect ou d’un colis abandonné dans un lieu public comme une gare, un aéroport ou sur la voie publique.

Le caractère innovant de l’équipement final provient de l’utilisation de technologies neutroniques et de la fusion de données issues de multi-capteurs. La fusion des données de natures différentes améliore nettement par rapport aux technologies existantes la capacité d’identifier le contenu d’un colis (association images en visible, en X et en composition atomique). Les technologies mises en œuvre (FNA et API) permettent d’accéder à la composition chimique de l’objet inspecté en utilisant les rayonnements Gamma issus de l’interaction de neutrons rapides avec la matière et à la cartographie de cette composition en utilisant la particule Alpha associée.

Les briques technologiques faisant l’objet du projet BINGO concernent :

- l’évaluation d’un nouveau détecteur de rayonnement Gamma,
- le développement d’un nouveau photomultiplicateur pour la détection des particules alpha,
- le développement d’une chaîne électronique compacte adaptée à un système portable et
- le développement d’un module de fusion d’information entre l’imagerie Gamma fournie par l’analyse neutronique et des images vidéo fournies par des caméras observant l’objet inspecté.

Le projet BINGO comporte un dernier volet sur l’analyse des contraintes d’utilisation réglementaires d’un tel système en situation opérationnelle.

Abstract –The BINGO project is in the context of terrorist threats as nuclear, radiological, chemical or explosive (NRCE) threats and the technical answer in terms of threats detection equipments using neutron interrogation technologies. The goal of this project is to develop some technical components needed to provide future equipment (ULIS) for illicit or dangerous detection materials (NRCE) contained in objects as a parcel or a luggage. This equipment will be portable and will be given to the governmental bomb squad in charge of intervention in case of alert emitted by railway station, airport and critical infrastructure in general on abandoned luggage or parcel for example.

Project innovation comes from neutron technology and from the fusion of heterogeneous data such as X-ray, Gamma Ray and video provided by multi sensors. These multi sensors techniques will improve the “screening” and “material identification” comparatively to classic technologies. The implemented technologies (FNA and API) provide chemical composition of inspected objects using Gamma rays issued from fast neutron interaction with matter and provide a mapping of this composition using Alpha associated particle.

The technical components covered by the BINGO project concern:

- the evaluation of a new Gamma rays detector,
- the development of a new photomultiplier for the Alpha particles detection,
- the development of a compact electronic chain compatible with portable constraints of the future equipment
- the development of a software module of data fusion between gamma imaging and video imaging.

The BINGO project includes a task concerning the regulations analysis of such a system in operational situations.

1. Introduction

Face aux menaces terroristes de type nucléaire, radiologique, chimique ou explosive, le besoin de disposer de systèmes d'inspection non intrusifs de détection et d'identification de ces menaces a pris une importance élevée afin d'assurer une protection et une sécurisation d'espaces publics ou de sites sensibles.

Les solutions actuelles d'inspection non intrusives sont principalement basées sur des systèmes de radiographie X ou Gamma estiment la forme et la densité d'objets situés par exemple dans un colis ou un bagage mais ne permettent pas d'accéder à la composition de la matière inspectée.

Les technologies neutroniques utilisant les neutrons rapides (Fast Neutron Activation FNA) donnent accès à la composition de la matière analysée en fournissant des données sur la présence d'éléments comme le carbone, l'oxygène et l'azote. L'utilisation en complément de la technologie d'imagerie exploitant les caractéristiques des particules alpha associées aux neutrons fournit une information sur les ratios de densité de ces éléments chimiques dans le volume de l'objet analysé, ce qui identifie (partiellement) la matière. L'association de ces technologies (X + FNA avec Associated Particle Imaging API) doit conduire à terme à des systèmes plus performants de détection et d'identification de produits illicites comme les explosifs, les armes chimiques, les matières nucléaires mais aussi d'autres produits comme de la drogue.

Le système ULIS (Unattended Luggage Inspection System) en cours de développement à SODERN est basé sur l'utilisation de ces technologies pour lesquelles différentes fonctions sont à améliorer ou à miniaturiser afin de les rendre compatibles des contraintes opérationnelles inhérentes au contexte de leur emploi.

Dans ce contexte, le projet **BINGO** consiste à développer certaines de ces fonctions ou briques technologiques comme :

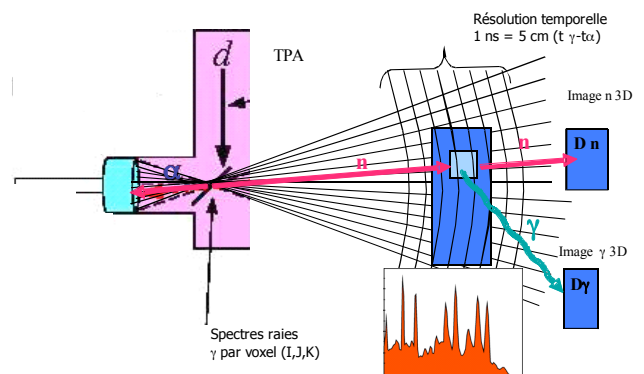
- le développement d'un nouveau photomultiplicateur destiné à la voie de détection Alpha (les alphas sont les particules associées aux neutrons qui permettent in fine de connaître la localisation d'une interaction),
- la définition et la caractérisation d'une nouvelle chaîne de détection Gamma utilisant un détecteur LaBr₃,
- le développement d'un module logiciel de fusion de données (images 2D visibles et images 3D Gamma)
- le développement d'un sous-ensemble électronique compact dédié à des applications portables regroupant l'ensemble des fonctionnalités de l'équipement (contrôle commande, acquisition et traitement)

Enfin le projet **BINGO** comprend un volet sur l'analyse de l'impact de l'utilisation de tels systèmes dans un environnement public en prenant en compte des réglementations internationales en vigueur.

2. Principe de détection

L'analyse de la matière par méthode neutronique avec particule associée met en œuvre une image 3D d'émission gamma induite par le rayonnement neutron et une image

Chaque gamma ou neutron détecté en coïncidence avec un alpha est associé à un voxel I du champ de vue.
 $\gamma(t) \times \alpha(i, j, t, \alpha) \propto \text{voxel}(I, J, K(t, \gamma, \alpha))$
Image γ 3D la résolution spatiale : la résolution de l'image α (2D) et la précision de la mesure des temps (1D)



3D d'absorption neutron. Le principe physique est présenté sur la figure 1.

FIG. 1 : principe de la détection d'explosifs

L'objet à analyser est « éclairé » par des neutrons. Une partie de ceux-ci interagit avec la matière traversée et il y a émission de rayonnements gammas dont l'énergie est caractéristique de l'élément atomique sur lequel l'interaction du neutron s'est produite. L'intensité du rayonnement gamma est caractéristique de la quantité de l'élément.

Afin d'améliorer le rapport signal sur bruit et de localiser le lieu de l'interaction neutron - matière, on utilise l'information apportée par la particule alpha associée au neutron lors de sa création. La particule alpha et le neutron sont liés spatialement et temporellement : ils s'écartent à une vitesse constante sur une droite de direction fixe.

La détection et la localisation de la particule alpha dans le tube générateur de neutrons fournit une information sur la direction d'émission du neutron et donc l'angle solide dans lequel a lieu l'interaction neutron - matière.

La datation de l'alpha et du gamma donne une information sur la distance entre le détecteur alpha et le lieu de l'interaction neutron - matière.

On peut ainsi avoir une information tridimensionnelle sur la composition de la matière dans le champ d'observation.

On réalise donc la détection et l'analyse des gammas en coïncidence avec un alpha. La résolution spatiale dans l'objet analysé dépend de la résolution spatiale sur la détection alpha et de la résolution temporelle sur le temps de vol alpha - gamma (écart entre les instants de détection compte tenu des vitesses des particules).

L'analyse des spectres gamma permet de remonter à la composition atomique de la matière par unité de volume décrit dans l'espace (surface de détection alpha, temps de vol).

Il faut ensuite convertir ces informations (spectres gamma) dans l'espace objet. L'algorithme de reconstruction d'image 3D permet donc de réaffecter chaque gamma détecté en coïncidence à l'élément de volume objet duquel il a été émis. On constitue ainsi une image 3D des spectres d'émission gamma.

Ces spectres sont ensuite décomposés par rapport à une bibliothèque de spectres de référence indépendants. L'algorithme de décomposition fournit quantitativement la composition du spectre mesuré en spectre d'éléments simples tels : le carbone, l'azote, l'oxygène, le fer, le silicium, l'aluminium...

On a ainsi accès à la composition élémentaire de chaque élément de volume. Les figures 3, 4 et 5 présentent un exemple de résultats de la composition en carbone, en oxygène et en azote résultant de l'analyse d'une scène réelle constituée de trois objets tels que décrits sur la figure 2.

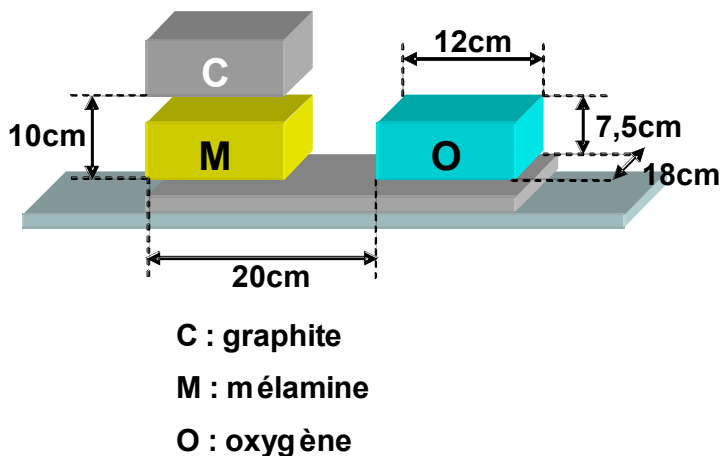


FIG. 2 : Configuration d'essai avec trois objets

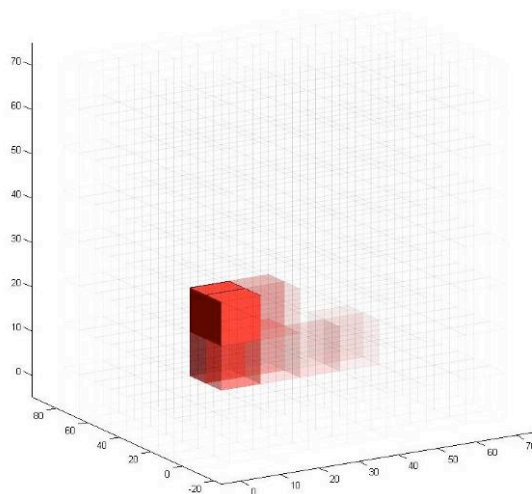


FIG. 3 : résultat obtenu pour le carbone

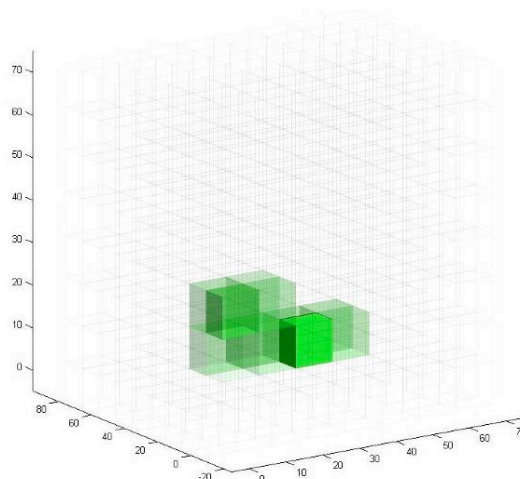


FIG. 4 : résultat obtenu pour l'oxygène

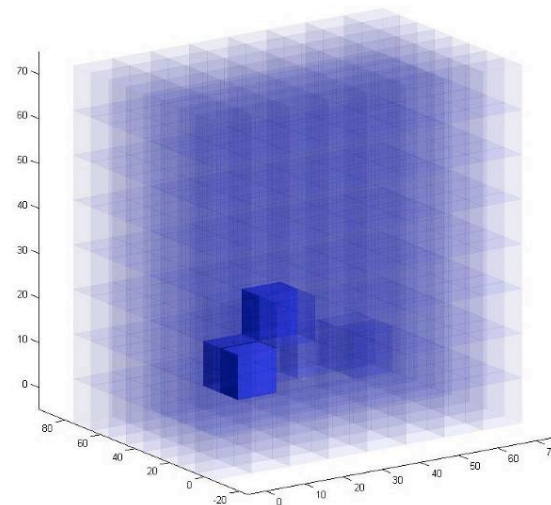


FIG. 5 : résultat obtenu pour l'azote

3. Principe d'ULIS

Le futur système ULIS intégrant les principes de détection décrits précédemment et dont une illustration est fournie en figure 1 se présente sous la forme d'un équipement transportable constitué d'une valise et d'un ordinateur. Ce dernier situé à distance en dehors du périmètre de sécurité permet de contrôler l'équipement de détection.

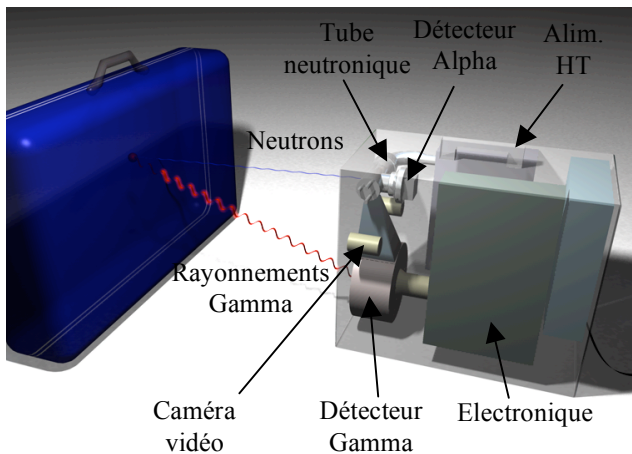


FIG. 6 : ULIS

Cet équipement de détection comporte :

- un générateur de neutrons rapides de 14 MeV émettant jusqu'à $2 \cdot 10^8$ n/s
- Une alimentation Haute tension nécessaire au fonctionnement du générateur,
- un module de détection des particules Alpha intégré sur le tube neutronique comportant un scintillateur YAP, un photomultiplicateur multi anodes et une électronique de proximité
- un module de détection Gamma constitué d'un détecteur LaBr3 de 3 pouces de diamètre, d'un photomultiplicateur et d'une électronique de proximité. Trois détecteurs NaI entourant le détecteur LaBr3 complètent le module de détection dans le but de réduire l'effet Compton,
- deux caméras vidéo fournissant des images de l'objet inspecté,
- un module électronique intégrant l'ensemble des fonctions logicielles permettant le contrôle de l'équipement, l'acquisition et le prétraitement des données ainsi que le transfert des résultats vers un PC de contrôle situé en dehors du périmètre de sécurité.
- Un ordinateur permettant de gérer l'équipement de détection, d'effectuer les traitements des données et de présenter les résultats à l'opérateur.

4. BINGO

Afin de proposer un équipement de détection adapté aux équipes d'intervention en termes d'ergonomie et de facilité de mise en œuvre, il est nécessaire de développer ou de miniaturiser diverses fonctions.

En parallèle du développement des sous-ensembles, Il est également important d'analyser les scénarios d'utilisation prenant en compte les différents contextes d'intervention (menace chimique, explosive, nucléaire) et les réglementations liées à l'utilisation de systèmes émettant des rayonnements dans des lieux publics.

Cette réflexion a conduit au projet BINGO consistant à développer des Briques pour une Imagerie Neutronique Gamma Opérationnelle (BINGO).

La figure 7 présente les cinq thèmes traités dans le cadre du projet BINGO.

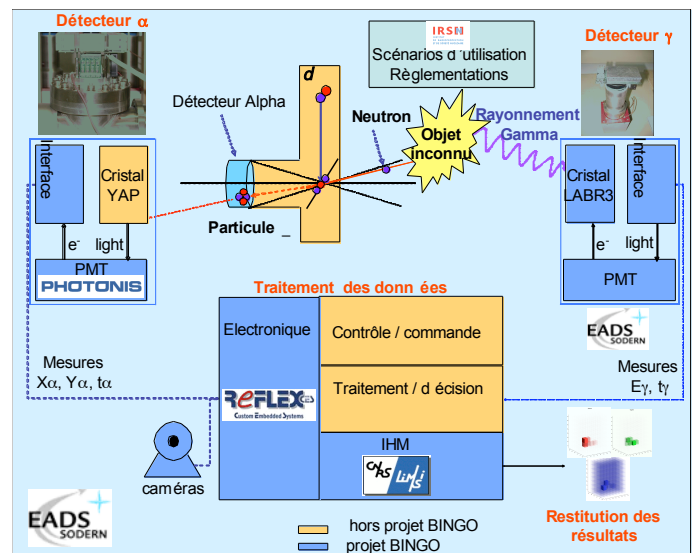


FIG. 7 : BINGO

Thème 1 : Le but est de développer un nouveau photomultiplicateur, composant critique de la voie de détection des particules alpha (voir figure 8) qui nécessite une bonne résolution géométrique et temporelle. Les alphas sont des particules d'hélium4 émises dans les tubes neutroniques en même temps que les neutrons et qui permettent de connaître les trajectoires des neutrons. C'est la technique des « tubes à particule associée ». Il n'existe pas actuellement sur le marché de photomultiplicateur multi-anodes dont les caractéristiques soient optimales pour l'application recherchée : structure 8 x 8, gain réduit pour être compatible avec un fort taux de comptage et donc une illumination forte en entrée et gigue temporelle réduite de voie à voie. Sa faisabilité sera analysée et un

maquettage réalisé en vue de caractérisation. Ces travaux seront assurés en commun par [SODERN](#) et [Photonis SAS](#). Le risque principal de ce développement est la non tenue simultanée de l'ensemble des spécifications : sensibilité de la photocathode, comptabilité avec un très fort taux de comptage (supérieur à 1 million d'événements par seconde), structure multi-anodes, gain de l'ordre de 100000, durée de vie de plusieurs milliers d'heures dans ces conditions, temps de transit réduit (< 1000ps) et gigue associée entre anodes faible (< 200ps).

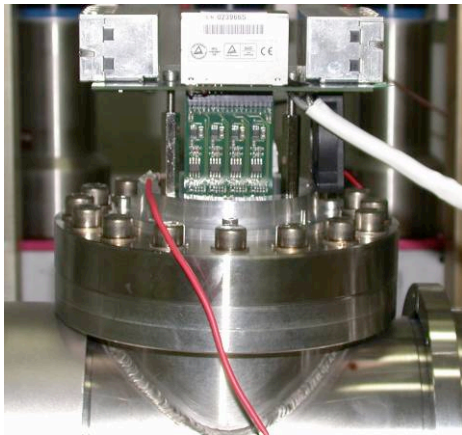


FIG. 8 : Voie de détection Alpha

Thème 2: Le but est de caractériser dans un environnement opérationnel neutronique un nouveau détecteur Gamma (LaBr3) présentant des performances de détection plus élevées que les détecteurs utilisés jusqu'à présent comme les détecteurs NaI et BGo. Seuls les détecteurs au germanium présentent des performances de détection supérieures mais ils présentent de fortes contraintes d'utilisation opérationnelles. Ces travaux assurés par [SODERN](#) seront réalisés en utilisant un détecteur LaBr3 équipé de son photomultiplicateur et d'une électronique de proximité comme représenté sur la figure9.



FIG. 9 : Détecteur LaBr3

Thème 3: Le but est d'établir les bases d'un système informatique de fusion et de présentation de données de dimensions différentes et issues de différents capteurs (imagerie visible et imagerie Gamma dans le cadre du projet BINGO avec la capacité à intégrer une imagerie X dans le futur). S'agissant du traitement d'image de très faible résolution mais dont l'information contextuelle par pixel est très riche, ce projet conduira à la conception et mise en œuvre de nouveaux algorithmes de reconnaissance et d'identification de formes qui s'avéreront complémentaires des algorithmes développés au LIMSI appliqués à des images de très haute résolution dont l'information par pixel se limite à la valeur du niveau de gris. Ces travaux seront réalisés par le [LIMSI](#) qui utilisera des données d'entrée fournies par [SODERN](#).

Thème 4: Ce thème porte sur la réalisation d'un système électronique d'analyse neutronique miniature permettant de contrôler le tube neutronique, d'alimenter les différents détecteurs et leurs photomultiplicateurs, d'acquérir et de traiter les données d'imagerie Alpha et Gamma. Cette réalisation implique en particulier une forte contrainte de contrôle de la puissance dissipée et de la consommation. Ce module électronique dont le développement est assuré par [REFLEX CES](#) recevra les fonctions de traitement et les différents algorithmes développés par [SODERN](#).

Thème 5: Ce thème porte sur la prise en compte des contraintes d'utilisation et réglementaires liées à l'utilisation d'un équipement émettant des rayonnements ionisants. Il doit en particulier répondre aux questions légitimes des utilisateurs potentiels sur les aspects de sécurité. A l'issue de cette analyse effectuée par l'[IRSN](#), des recommandations en matière de sécurité ou d'évolutions du système seront émises afin de permettre l'emploi du futur équipement dans le cadre des différents scénarios d'utilisation envisagés.