

SPIDERS

Système Portable d'Inspection par rayons X pour la Détection et l'identification des Explosifs et Risques chimiques pour la Sécurité

P. PONARD¹, K. PHAM¹, C BOUDOU¹, V. KAFTANDJIAN², P. DUVAUCHELLE², P. LEGAGNEUX³, JM. DINTEN⁴

¹THALES COMPONENTS & SUBSYSTEMS, 2 bis rue Latecoere 78941 Vélizy cedex

²INSA de LYON Laboratoire CNDRI, 25 avenue Jean Capelle 69621 Villeurbanne Cedex

³THALES RESEARCH & TECHNOLOGY France, Route départementale 128 91767 Palaiseau Cedex

⁴CEA Laboratoire d'Electronique et de Technologies de l'Information - DTBS, 17 rue des Martyrs - 38054 Grenoble cedex 9

pascal.ponard@thalesgroup.com, kim.pham@thalesgroup.com, caroline.boudou@thalesgroup.com

philippe.duvauchelle@insa-lyon.fr, valerie.kaftandjian@insa-lyon.fr

pierre.legagneux@thalesgroup.com

jean-marc.dinten@cea.fr

Résumé – L'objectif du projet SPIDERS est la validation d'un nouveau concept de système portable permettant la caractérisation de matériaux dangereux/illicites dissimulés à l'intérieur d'objets (thème « systèmes mobiles et portables de détection et identification NRBCE ») fournissant aux forces de l'ordre, dans le cadre d'une intervention préventive ou sur le lieu de crise, un outil simple, léger, fiable et rapide d'inspection non intrusive du contenu d'un objet suspect en vue de déclencher une alerte. Cet objectif est rendu possible grâce à l'innovante combinaison de 2 techniques à rayons X complémentaires (tomosynthèse bi-énergie et diffraction), permettant d'accéder à une signature fiable du matériau. Le projet devra lever 3 verrous technologiques : 1- exploration 3D sans déplacement de l'objet ni du système (multi sources à nanotubes de carbone), 2- détection spectrométrique à haute résolution et à température ambiante, 3- imagerie 4D par diffraction, analyse spectrale et reconstruction. La levée de ces 3 verrous sera validée à travers la réalisation et les tests d'une maquette de démonstration sur des échantillons réels fournis par le Comité de Pilotage.

Abstract – The objective of the SPIDERS project is the validation of a new concept of portable system for the characterization of dangerous/illicit materials hidden within objects (theme “mobile & portable systems for CBRNE detection & identification”) providing to the law enforcement forces, in the context of preventive response or on the crisis area, an easy, light, reliable and rapid, non invasive inspection tool of the content of a suspicious object, in order to launch an alert. This objective is possible thanks to the innovative combination of 2 complementary X-ray techniques (bi energy tomosynthesis and diffraction), thus providing a reliable signature of the material. The project will have to solve 3 technological issues : 1- search in 3D without moving neither the object nor the system (carbon nanotubes multi sources), 2- high resolution and room temperature spectrometric detection, 3- diffraction imaging in 4D, spectral analysis and reconstruction. The solving of these 3 issues will be validated through the realization and tests of a demonstration breadboard upon real samples provided by the Steering Committee.

1. Description du projet

1.1 Objectif du projet

L'objectif du projet SPIDERS consiste en la mise au point et la validation d'un nouveau concept de système portable non intrusif de caractérisation de matériaux dangereux/illicites dissimulés à l'intérieur d'objets.

Fondé sur une identification de substances dangereuses ou illicites, ce système vise à fournir aux différents acteurs de la sécurité, un outil simple et portable permettant une inspection non invasive, fiable et rapide, du contenu d'un objet suspect. De tels dispositifs pourront se montrer utiles en vue de déclencher et gérer une alerte, par exemple dans le cadre d'une intervention sur un lieu de crise ou pour sécuriser un événement particulier.

Cet objectif est rendu possible à travers deux facteurs principaux :

Le premier facteur est technologique et se traduira par l'utilisation combinée de 2 techniques complémentaires d'imagerie par rayons X, permettant d'accéder à une signature fiable du matériau, tout en intégrant les contraintes de portabilité du dispositif. Pour atteindre ce but, des innovations technologiques sur l'émission et la détection des rayons X seront mises en œuvre.

Le second facteur est stratégique, il correspond à la volonté des partenaires de ce projet d'apporter et de mettre en commun leurs compétences afin de relever les différents défis technologiques

1.2 Principe

Le schéma de principe du système portable à étudier dans le projet SPIDERS est donné en figure 1 avec l'implication des différents partenaires.

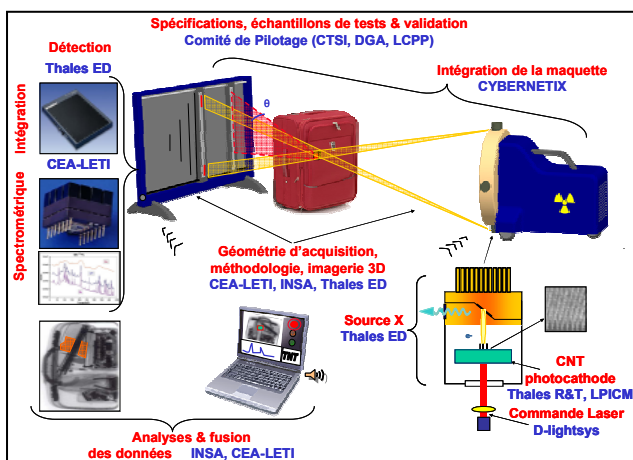


FIG. 1 : schéma de principe

Le projet SPIDERS met en oeuvre deux types d'imagerie : la tomosynthèse bi-énergie et la diffraction.

Ces deux techniques sont complémentaires en terme d'information délivrée sur l'objet examiné.

La tomosynthèse bi-énergie utilise le rayonnement transmis par l'objet, et délivre une cartographie en trois dimensions (3D) du coefficient d'atténuation [1]. Le fait d'utiliser deux énergies permet de remonter aux deux paramètres qui régissent le coefficient d'atténuation : la densité et le numéro atomique effectif. Ces deux paramètres permettent une première discrimination des matériaux.

L'imagerie en diffraction, dont le principe repose sur la loi de Bragg, utilise le rayonnement de diffusion cohérente issu de l'objet à un angle choisi. L'utilisation d'un faisceau polychromatique et d'un détecteur résolu en énergie permet d'obtenir un spectre caractéristique du volume de mesure contrôlé. Cette signature spectrale contient des informations liées à la structure de la matière. Avec une géométrie d'acquisition adaptée, on obtient une image en quatre dimensions (4D) : trois dimensions d'espace et une d'énergie.

Ainsi, la combinaison de ces deux techniques d'imagerie conduira à une identification fiable des matériaux grâce aux informations de densité, numéro atomique effectif et structure.

1.3 Verrous technologiques

Afin de fournir aux acteurs de la sécurité, un système portable capable d'apporter une aide efficace dans l'évaluation du niveau de risque en situation d'intervention mobile, le projet devra relever des défis technologiques et économiques.

Principalement trois verrous technologiques devront être levés :

- Exploration 3D sans déplacement de l'objet ni du système,
- Détection spectrométrique à haute résolution et à température ambiante,
- Imagerie 4D par diffraction, analyse spectrale et reconstruction.

Le défi économique consistera à encadrer ces technologies nouvelles par un objectif de prix pour le futur système.

La levée de ces verrous technologiques sera validée à travers la réalisation et les tests d'une maquette de démonstration sur des échantillons représentatifs fournis par le Comité de Pilotage.

1.3.1 Exploration 3D sans déplacement de l'objet

L'identification de substances illicites parmi des substances communes est une tâche très difficile en raison, d'une part de la superposition dans une radiographie des contributions des différents éléments constituant le colis et d'autre part en raison de caractéristiques radiologiques proches entre des matières illicites et certaines matières

courantes. Pour remédier à ces limitations, il est indispensable de réaliser une exploration tridimensionnelle (3D) de l'objet suspect en combinant deux techniques X complémentaires : l'absorption bi-énergie avec reconstruction 3D par tomosynthèse et la diffraction des rayons X.

L'analyse 3D nécessite d'une manière générale un déplacement de l'objet ou de l'ensemble source détecteur, ce qui est en contradiction avec les conditions d'exploitation requises pour le système portable recherché.

Afin de réaliser rapidement une image 3D sans déplacement de l'objet, on développera une technologie de source à rayons X permettant de l'observer sous différentes incidences. La recombinaison des images obtenues permettra de reconstruire l'information 3D.

Afin de lever ce verrou technologique, un nouveau type de source à rayons X fixe, à base de photocathodes à nanotubes de carbone commandées par diode laser sera développé à travers deux tâches parallèles.

La première tâche consistera à mettre au point les procédés permettant la réalisation de photocathodes CNT [2,3] et le développement du système de commande optique associé [4].

Une seconde tâche consistera à réaliser une source RX intégrant une photocathode à nanotubes de carbone (figure 2).

La contrainte de portabilité du système à étudier (poids, dimensions, consommation énergétique, refroidissement, isolation des hautes tensions) impose un refroidissement de l'anode du tube RX par convection naturelle, ce qui nécessite de maintenir cette anode au potentiel zéro. La technologie proposée mettra en œuvre des photocathodes pilotées par laser. Cette configuration est particulièrement intéressante pour la configuration portable recherchée, car elle permet un découplage galvanique de la commande en courant rendant l'alimentation HT beaucoup plus simple à réaliser.

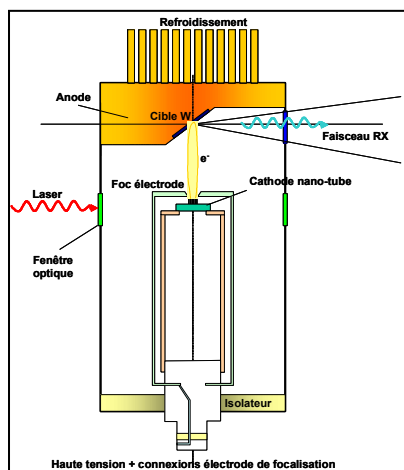


FIG. 2 : schéma de principe d'une source RX avec une photocathode CNT

Les cathodes CNT facilitent également la réalisation de sources multiples dans une même enceinte sous vide avec des commandes individuelles.

1.3.2 Détection spectrométrique à température ambiante

La détection spectrométrique des rayons X a longtemps été réservée aux capteurs germanium, qui ne fonctionnent qu'à très basse température (Azote liquide). Depuis une dizaine d'années, les recherches se sont intensifiées autour des matériaux semi-conducteurs à base de cadmium et tellure (CdTe et CdZnTe) [5]. Ces derniers présentent une résolution en énergie nettement supérieure à celle accessible par un scintillateur NaI (figure 3) et sont opérationnels à température ambiante.

Par ailleurs, un capteur à base de CdTe et CdZnTe peut être mis en œuvre sous forme linéaire ou matricielle à travers des pixels sous lesquels une électronique de traitement du signal dédiée est intégrée (ASIC). Ces géométries de détecteurs, associées à des algorithmes de déconvolution dédiés, permettront de paralléliser et ainsi d'accélérer l'acquisition des informations spectrométriques.

Associé à un dispositif de collimation adapté, ce nouveau type de détecteur présente un grand intérêt pour les rayons X puisqu'il permettra d'ajouter à l'information d'amplitude (cas des détecteurs linéaires ou matriciels actuels) une information en énergie. Si on transpose dans le domaine du visible, c'est une évolution de même nature qu'entre la télévision noir et blanc (luminance) et la couleur (luminance et chrominance).

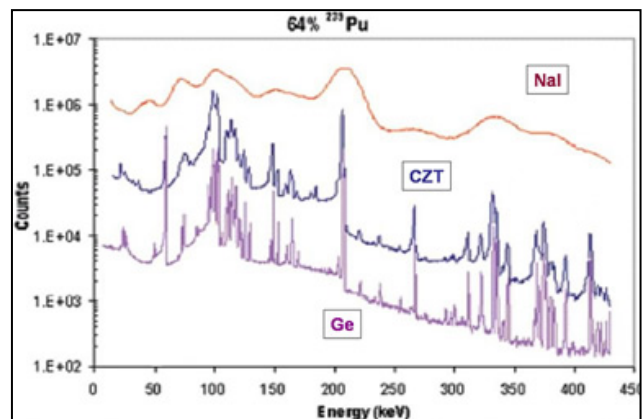


FIG. 3 : Comparaison des spectres d'énergie détectés par un capteur à base de scintillateur (NaI), de semi-conducteur germanium (Ge), de semi-conducteur CdZnTe (CZT).

1.3.3 Imagerie 4D par diffraction, analyse spectrale et reconstruction

La technique de diffraction a déjà prouvé ses performances pour l'identification d'explosifs [6,7], mais pas dans le cadre d'un système portable et sans tenir compte de l'effet du colis sur la fiabilité de la reconnaissance des matériaux. Ainsi, le verrou à lever ne concerne pas le principe même de la diffraction, mais

plutôt la géométrie d'acquisition imposée par la contrainte de portabilité du système, l'effet du colis sur les signatures spectrales, et la qualité finale de l'information après reconstruction.

Plus précisément, la première phase de ce verrou consiste à définir une géométrie d'acquisition qui réponde au besoin du Comité de Pilotage et permettant de spécifier les caractéristiques nécessaires de la source et du détecteur.

Dans une deuxième phase, il faudra valider que l'imagerie par diffraction permet bien une reconnaissance spectrale des matériaux en tenant compte de la variabilité due au contenu du colis.

Enfin, la troisième phase sera la vérification de la qualité de l'image 4D obtenue après reconstruction des images obtenues à différentes incidences.

2. Description du consortium

Le consortium est composé de 7 partenaires :

- Thales Electron Devices (TED) (coordinateur) (industriel impliqué aux niveaux sources, détecteurs et systèmes)
- CEA LETI (centre de recherche intervenant essentiellement au niveau du détecteur spectrométrique et de sa mise en oeuvre)
- INSA-Lyon-CNDRI (laboratoire universitaire intervenant essentiellement au niveau des techniques d'imagerie 3D et des traitements et fusion de données)
- Thales Research & Technology France (TRT) (centre de recherche intervenant essentiellement au niveau de la source RX à base de photocathodes à nanotubes de carbone)
- Ecole Polytechnique (centre de recherche intervenant essentiellement au niveau de la réalisation des photocathodes à nanotubes de carbone)
- D-LIGHTSYS (TPE intervenant essentiellement au niveau des éléments optoélectroniques de pilotage des photocathodes de la source)
- CYBERNETIX (PME intervenant essentiellement au niveau de l'intégration du système).

Le Comité de Pilotage est dirigé par le CTSI (Ministère de l'Intérieur / Centre Technique de la Sécurité Intérieure).

Ce Comité de Pilotage comporte également des représentants du Laboratoire central de la police de Paris (LCPD) et de la Délégation générale pour l'armement (DGA) (membre de la DGA participant à un groupe de travail national sur les explosifs). Ce Comité de Pilotage pourra s'élargir à d'autres entités si besoin.

3. Calendrier des travaux

La réunion de lancement des travaux est prévue le 5 Février 2008. Le projet dure 30 mois et se découpe en 8 tâches listées ci-après :

- Analyse système, cahier des charges, plan de tests
- Géométrie d'acquisition et dimensionnement global de la maquette de démonstration
- Reconstruction 3D/4D en transmission et diffraction
- Détecteur spectrométrique matriciel et collimateur associé pour la diffraction
- Source multi faisceaux à rayons X à base de cathodes à nanotubes
- Maquette de démonstration du système portable de détection d'explosifs
- Analyses spectrales – Fusion de données
- Application du plan de tests – Spécifications du système portable.

Références

- [1] V. Rebuffel, JM. Dinten, « *Dual-Energy X-Ray Imaging: Benefits and Limits* », Proceedings of 9th ECNDT, Berlin 2006
- [2] JP Schnell, P. Legagneux, E. Minoux, L. Gangloff, F. André, D. Dieumegard, « *Cathode à émission de champ, à commande optique* », Brevet N° 04 13340, déposé le 15 décembre 2004
- [3] Cojocar C.S.; Kim D. ; Pribat D.; Bouree J.E.; Minoux E.; Gangloff L. ; Legagneux P. « *Study of electron field emission from arrays of multi-walled carbon nanotubes synthesized by hot-wire dc plasma-enhanced chemical vapor deposition* »: Journal of non Crystalline Solids. 2006; 352 (9-20): 1352-1356
- [4] M. Pez, C. Claudepierre, J-P. Ghesquiers, T. Dean, A. Thurm and S. Paineau, « *Low Cost Packaging and Assembly Techniques for High Speed Optical Interconnects* », InterPack'01 Proceeding, The Pacific Rim/ASME International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition, July 8-13 2001 Kauai, Hawaii, USA.
- [5] L. Verger, E. Gros d'Aillon, L. Guérin, O. Monnet, G. Montemont, B. Nicolas and B. Pellicciari, *New trends in Gamma-Ray Imaging with CdZnTe/CdTe*, Nuclear Instruments and Methods in physics Research A 571, pp.33 – 43, 2007
- [6] Harding G., *X-ray scatter tomography for explosives detection, Radiation physics and chemistry*, 71, p. 869-881, 2004.
- [7] Speller R., Radiation based security. *Radiation physics and chemistry*, 61, p.293-300, 2001.