

SHERLOC: 3D hyperspectral Ladar for crime scene investigation

L. HESPEL¹, V. BROCHIER¹, T. DARTIGALONGUE¹, P DELIOT¹, V. ACHARD¹, E. NASCIMBEN², F. SAFI³, JM PARIS⁴ & E. DAVET⁵

¹ONERA, The French Aerospace Lab, F31055 Toulouse Cedex

²EXAVISION, 8 Av. Ernest Boffa, ZAC Trajectoire, Milhaud 30540 Cedex

³ICP, Institut de criminologie et de droit pénal de Paris, 12 Place du Panthéon, Paris 75231 Cedex

⁴IRCGN, Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale, 1 Bd Theophile Sueur, Rosny sous bois 93111 Cedex

⁵SDPTS, Sous Direction de la Police Technique et Scientifique, 31 Av. F. Roosevelt, 69134 Ecully Cedex

laurent.hespel@onera.fr, nascimbem@exavision.com, farahsafi@gmail.com, jean-marc.paris@gendarmerie.interieur.gouv.fr, estelle.davet@interieur.gouv.fr

Résumé – Aujourd’hui, la résolution de nombreux délits par la police fait appel à la science et l’expertise scientifique a donc bénéficié de progrès techniques importants. Toutefois, **un besoin véritable demeure de fournir aux services criminalistiques des outils innovants améliorant la détection de multiples marqueurs (papillaires, biologiques, chimiques, organiques, matériels) et ce, rapidement et sans intrusion/destruction de l’environnement "légal" de la scène.** En effet, si la complexité de la détection s’accroît par cette multitude de marqueurs ou indices, elle est aussi rendue difficile par la nature de la scène (ex: mesure en extérieur, sur une scène "polluée/nettoyée" par les auteurs des faits). Aujourd’hui, en soutien de protocoles et de leurs expériences, les experts disposent **d’outils de détection** de ces marqueurs, qui sont souvent **séparés** (un moyen par trace) et **trouvent leur limite dans la détection à distance des cas complexes évoqués ci-dessus.** Un **moyen unique de détection améliorée** offrirait des **gains opérationnels** pour les services criminalistiques et limiterait la perte d’indices utiles. Le projet **Sherloc** inclut les deux services criminalistiques référents en France (IRCGN et SDPTS) et propose une approche **innovante** fondée sur **l’imagerie laser hyperspectrale 3D couplée à des traitements d’images. Il apportera une solution concrète pour détecter (voire classifier) et localiser, à distance, de nombreux indices sur des scènes d’infraction.** Ce projet associe l’Onera pour la mise au point du système et des traitements d’image avec Exavision, une PME, pour le dimensionnement opérationnel du démonstrateur et l’Institut de criminologie et de droit pénal de Paris pour étudier l’impact en matière de constitution de la preuve. Ce projet fournira aux services criminalistiques, partenaires pleinement associés à la démarche, par le biais d’une recherche industrielle, un démonstrateur adapté à leurs besoins.

Abstract – Today, solving many crimes requires more and more a scientific expertise that has therefore benefited from significant technological advances. However, it remains a real need to provide innovative tools to the forensic services that will improve a quick, non contact, without any modification of "legal" scene, detection of multiple markers (papillary, biological, chemical, organic materials...). Indeed, the complexity of the detection increases with the variety of markers or indices, the natural clutter of the scene (e.g. outdoor measurements) and a criminal scene voluntarily degraded. Today in support of protocols and their experiences, experts have tools for detection of these markers, which are often separated (a tool by trace) and are limited by the remote sensing of complex cases mentioned above. A unique system providing improved detection will offer substantial operational gains for the forensic services and limit the loss of useful clues. The Sherlock project includes both referent forensic services in France (IRCGN and SDPTS) and offers an innovative approach based on 3D hyperspectral laser imaging associated with image processing. It will bring a concrete solution to detect (or classify) and locate many clues of criminalistic scenes. This project combines ONERA and EXAVISION know-how, respectively for the development of the system and image processing tools and for the design and therefore the fabrication of an operational demonstrator. The criminology and criminal law institute will study the impact on the constitution of the proof. This project will provide to the forensic Services, partners fully involved in the process, through industrial research, a demonstrator tailored to their needs.

1. Introduction

Bien que les progrès scientifiques aient été immenses, la détection des traces sur une scène d'infraction demeure une tâche complexe. Pourtant elle joue un rôle déterminant dans la recherche de la vérité et alimente sans aucun doute la réflexion des enquêteurs. Cette lacune technologique représente aujourd'hui un véritable frein dans la lutte contre la criminalité, d'autant plus que notre époque se caractérise par la multiplication des crimes organisés pour lesquels tout est fait pour rendre difficile le travail des enquêteurs et la découverte du coupable. Or il est dans les objectifs régaliens et existentiels d'un Etat de Droit et dans l'imaginaire européen de protéger les citoyens de toute violence considérée comme illégitime et illégale (meurtres, vols, violences physiques...) et de maintenir hors des vices ces mêmes citoyens (consommation de stupéfiants...). En effet, la résolution des crimes et délits¹ et la réduction de la violence sont un des objectifs de l'Etat régalien. L'absence de moyens pour atteindre ces objectifs peut conduire à un affaiblissement de l'Etat.

Un rapport de 2012 émanant de l'Observatoire français des drogues et des toxicomanies, constate que les quantités saisies augmentent et ce quel que soit le produit². **La lutte contre la vente de stupéfiants représente non seulement un objectif de santé publique mais aussi un objectif politique puisqu'il vise à lutter contre des organisations crapuleuses de plus en plus puissantes économiquement et qui peuvent donc remettre en cause la souveraineté de l'Etat.** Ces organisations n'hésitent pas à s'entretuer pour acquérir un monopole de fait et sont source de violence. S'agissant de la lutte contre les violences et les atteintes à la vie, une étude, récente menée au sein de la Déclaration de Genève sur **la violence armée** et le développement estime qu'il y avait environ dans le monde 490.000 homicides volontaires, hors conflits, en 2004. La France n'est pas épargnée par ce phénomène. Bien que les crimes de sang aient chuté de 35,11% en France métropolitaine entre 2000 et 2009 et ce grâce aux experts en blouses blanches (le taux d'élucidation du crime vient en effet de franchir la barre des 87%), ils demeurent trop nombreux. Les meurtres restent une constante assez tenace dans les zones rurales ou péri urbaines. De fait, les unités de gendarmerie y ont enregistré **une hausse de 36,36 % des faits de leur ressort**³. De plus, la DCPJ relève que «les règlements de comptes entre malfaiteurs enregistrés par la police nationale s'inscrivent en légère hausse (+3,33 %) entre 2009 et 2010. De plus, l'année 2011 a été marquée par une forte hausse du nombre de

meurtres ou tentatives de meurtres "entre voyous"⁴. Cette hausse risque de ne pas s'arrêter.

Les crimes passionnels représentent les 2/3 des meurtres ou tentatives. Ces derniers sont très souvent les plus difficiles à découvrir car leur auteur cherche à masquer toutes les traces de son acte (ex : usage de détergent en quantité importante, incendie de la scène et du cadavre...). Le taux de résolution demeure donc plus faible que celui atteint dans la catégorie des « règlements de compte ».

Toutes ces données citées montrent clairement qu'une scène d'infraction peut être complexe. Le sang ne constitue pas le seul élément recherché par les « enquêteurs scientifiques ». En effet, sur une même scène, des traces diverses pourront être recherchées : digitales, sang éventuellement nettoyé, micro-débris (verre, fibre, peinture...), objets dispersés plus gros (munitions, débris de véhicules...) ou éventuellement des produits stupéfiants⁵. A effectifs constants et confrontés à une augmentation des infractions « lourdes », les experts scientifiques doivent s'appuyer sur des solutions rapides et efficaces.

En conclusion, il y a un **besoin véritable à fournir aux services opérationnels spécialisés en criminalistique⁶ des outils innovants permettant d'améliorer la détection de multiples marqueurs (papillaires, biologiques, chimiques, organiques, matériels) et ce, rapidement et sans intrusion/destruction de l'environnement « légal » de la scène.**

2. Problématique et Etat de l'Art

Selon l'IRCGN et la SDPTS, la détection d'indices sur des scènes d'infraction repose sur un protocole basé sur la formation de l'investigateur et ses savoir-faire soutenus par un ensemble plus ou moins disparate de moyens techniques de détection, comme des réactifs (ex : bluestar <http://www.bluestar-forensic.com/fr/index.php>) ou des matériels divers (par exemple, des lasers pour empreintes digitales...). Il existe peu de contraintes temporelles⁷ pour une recherche dans un environnement protégé (ex : à l'intérieur d'une maison) mais les choses se compliquent en extérieur : surface importante, scène dégradée par les effets climatiques... Toutefois, même sur une scène protégée, les investigations se séquentent en fonction de la durée de vie d'une "trace" et les examens sur scène après

⁴ bis

⁵ Même si cette dernière application ne constituera pas le cœur de cible du projet ; l'IRCGN et la PTS, disposant déjà des outils nécessaires, jugent que la détection de stupéfiants n'est pas une priorité.

⁶ On désignera ainsi l'IRCGN et/ou la PTS. Le terme service d'investigations scientifique sera également employé tout comme ceux d'experts scientifiques ou de police scientifique (terme juridique)

⁷ Hormis en cas de placement en garde à vue d'une personne mise en cause dont il faudrait mettre en évidence la présence sur la scène d'infraction (par son ADN, ses empreintes digitales, des transferts croisés de matière...) dans le temps de la GAV (en général 48h au plus)

¹ On emploiera le essentiellement le terme « infraction », qui, légalement, inclut les crimes et délits.

² http://www.ofdt.fr/BDD_len/seristat/00029.xhtml

³ <http://www.lefigaro.fr/actualite-france/2010/08/01/01016-20100801ARTFIG00207-meurtres-et-assassinats-en-net-recul-en-france.php>

détection consistent essentiellement en des prélèvements et des conditionnements pour des analyses fines de laboratoire (ex : chromatographie de masse, spectroscopie IR, séquençage ADN...). L'activité d'investigation scientifique est donc assez chronophage.

Actuellement, les moyens mis à la disposition de l'IRCGN et de la PTS ne fournissent pas un taux de détection suffisamment élevé et pertinent dans certains cas. De plus, ceux-ci sont séparés, souvent onéreux et offrent peu de plus-value opérationnelle.

La problématique posée par la police scientifique concerne la **complexité de la détection/identification** de certains indices sur scène d'infraction due à l'absence de contraste (ex : scène nettoyée ou souillée volontairement ...) et à la faible dimension des marqueurs vs la surface à couvrir, souvent texturée (ex : objets divers centimétriques sur des surfaces décimétriques). Une fois détectée, la localisation précise de ces différents indices permet aux experts d'effectuer des prélèvements permettant de tirer des conclusions **quant à la nature des produits incriminés et de reconstituer parfois la scène d'infraction** (ex : analyse des projections des traces de sang...). **C'est donc un élément central de l'enquête.** Une fois la mission de détection accomplie par le système, les services de police scientifique identifient deux besoins complémentaires : une **visualisation** directe de certains indices à l'aide d'une résolution accrue et une **classification** orientant les experts vers des analyses/prélèvements spécifiques appropriés ou un meilleur phasage temporel de ceux-ci.

Il y a donc un véritable enjeu à favoriser la **détection améliorée des dits indices sur la scène mais aussi dans la mesure du possible, de les visualiser et classifier.**

Ce besoin spécifique apparaît clairement dans le sous-thème "2.2.1 : PROTEGER LE CITOYEN : Les outils, méthodes et processus utilisés par la police technique et scientifique comme l'analyse de scène criminalistique.", en page 8 de l'Appel d'Offre "CONCEPTS SYSTEMES ET OUTILS POUR LA SECURITE GLOBALE".

Si les services criminalistiques disposent à ce jour d'outils permettant de détecter certains indices et/ou (plus rarement) de géolocaliser une scène d'infraction (ex : laser scanner 3D à haute précision de l'IRCGN https://www.faro.com/FaroIP/Files/FR_US_LS_IRCGN_fr.pdf), il n'existe pas de moyen unifié ni aucune **méthode de détection à distance** permettant un gain de temps dédié à l'investigation sur place et d'accroître les probabilités de détection d'indices, tout en favorisant la pertinence de la **recherche de traces en soutien de l'intervenant, de son savoir faire et de son expérience.**

Comme nous le verrons ensuite, la piste technologique de "l'imagerie hyperspectrale laser 3D" semble d'intérêt pour répondre à ce besoin spécifique. Ce projet propose donc un procédé technologique innovant, fondé sur une technique d'imagerie hyperspectrale laser 3D, et intégrée au sein d'un produit futur afin de réaliser une analyse sur une scène de crime. **Aucun moyen satisfaisant unifié**

n'existe actuellement et la solution d'imagerie hyperspectrale laser 3D n'a jamais été proposée pour répondre à ce problème bien que cette méthode non intrusive et permettant la détection, la localisation puis éventuellement la visualisation soit reconnue comme efficace pour extraire une information pertinente dans des cas complexes.

Cette étude aura indéniablement des débouchés tant au niveau européen qu'international. Le besoin spécifique formulé par les deux partenaires de ce projet, est en fait un problème récurrent rencontré par la quasi-totalité des polices scientifiques à travers le monde. **La SDPTS et l'IRCGN sont en effet fortement intéressés par le projet Sherlock** dans la mesure où ils sont chargés de déterminer les équipements destinés au recueil des traces et indices sur les scènes d'infraction et qu'il n'existe pas actuellement de technologies permettant de mettre en lumière, **par un seul appareillage**, la présence d'un nombre important **de traces et indices de nature différente sur une même scène.** La mise au point d'un tel système **faciliterait sans doute grandement le travail**, toujours indispensable cependant, du technicien de scène de crime, dans le **repérage, la localisation et la catégorisation** des éléments pertinents, visibles ou non, présents sur une scène et **de mieux les exploiter.**

Le contexte juridique et social sera aussi fortement modifié. **Sur un plan pénal, le juge disposera d'un avis solide et fiable émis par l'expert et sera plus enclin à l'ajouter au faisceau de preuves destiné à constituer un dossier et à prendre une décision. Cela est d'autant plus vrai que le degré de fiabilité du nouveau procédé SHERLOC pourrait amener le législateur à attribuer aux résultats obtenus une valeur juridique importante similaire à celle d'un procès verbal.** Dans cette hypothèse, et si la recherche menée par l'ICP permet d'aboutir à cette conclusion, la preuve apportée grâce à SHERLOC fera foi jusqu'à preuve contraire. **En outre, non seulement SHERLOC place la preuve scientifique au cœur du procès pénal, mais encore il contribue à assurer une meilleure image de la justice en réduisant le risque d'erreur judiciaire.** Il en résultera une augmentation du taux de résolution des affaires, ce qui rassurera la population et réduira également les menaces qui pèsent sur elle. Il est nécessaire de préciser que dans le cadre d'une enquête, toute prise d'image ou de vidéo par un agent de la police est autorisée. Le projet SHERLOC n'aura donc aucun impact éthique; ce qui sera confirmé ultérieurement par l'ICP.

Pour finir cette étude s'inscrit pleinement dans la continuité de l'ANR Syllabes⁸ qui implique déjà bon nombre des partenaires de Sherlock. Cette étude adresse une problématique similaire (détection de traces de poudre) et s'appuie sur une réflexion semblable. Ces deux études renforcent notre analyse commune (scientifique, légale et commerciale), au niveau "système", des investigations d'une scène d'infraction.

⁸ Voir résumé dans le même workshop

3. Intérêt de l'Imagerie Hyperspectrale Laser

Différentes techniques existantes permettent de visualiser par une méthode optique certaines traces sur les scènes d'infraction. Ils combinent aujourd'hui soit un ensemble limité de laser/diode laser soit une lampe Xenon comme éclairage avec des lunettes ou un ensemble de caméras et filtres spécifiques pour visualiser différentes traces⁹. Ces systèmes souvent portatifs sont manipulés par l'opérateur qui choisit par expérience ou méthodologie la zone à éclairer. Pour chaque type de trace, un couple unique source et filtre s'avère souvent le plus efficace. De nombreux travaux de recherche visent aujourd'hui à regarder l'applicabilité de cette approche à une palette étendue de visualisation¹⁰. A côté de cela, des systèmes laser scanner¹¹ sont utilisés aujourd'hui pour relever en 3D des éléments d'enquête et des scènes d'infraction, permettant de conserver une scène définitivement, de proposer différents scénarii afin de comprendre le déroulement des faits ou d'analyser sous différents angles de vues une scène ou des éléments d'enquête. **A notre connaissance, il n'existe aucun système 3D à plusieurs longueurs d'onde et aucun système hyperspectral laser de mesure sur le terrain. On peut noter toutefois que l'analyse hyperspectrale commence toutefois à être commercialement exploitée pour la mesure de police scientifique mais en laboratoire**¹².

L'imagerie hyperspectrale consiste à acquérir des images sur un grand nombre de bandes spectrales fines et généralement adjacentes. L'imagerie hyperspectrale a tout d'abord été dédiée à la télédétection aéroportée pour un large panel d'applications militaires et civiles (géologie, étude de la végétation, de l'environnement...). L'hyperspectral est également utilisé depuis plusieurs années pour analyser la qualité de différents produits de consommation. Le déclenchement d'une fluorescence par induction laser est souvent mis en œuvre en parallèle de la technique hyperspectrale pour la détermination de la

qualité d'aliments, l'étude de tissus/résidus biologiques (ex : fluorescence de l'ADN¹³)...

L'imagerie hyperspectrale laser éclaire la scène avec un laser et réalise une image hyperspectrale, soit directement sur le spectre du laser réfléchi par la scène vers la caméra, soit indirectement à partir du spectre fluorescé par la scène vers la caméra sous l'effet de l'éclairage laser¹⁴. Le laser augmente le bilan de liaison et des sources laser dite à supercontinuum permettent aujourd'hui d'obtenir un éclairage intense, reproductible et uniforme spectralement, facilitant le bilan radiométrique et les traitements. Il devient alors envisageable de travailler quelles que soient les conditions d'illuminations, même de nuit, et d'augmenter sensiblement le rapport signal à bruit, ce qui est très intéressant pour détecter des faibles contrastes. L'imagerie hyperspectrale laser réalise une image en utilisant généralement une caméra ou un détecteur classique large bande [1]. On sélectionne alors la longueur d'onde grâce à l'agilité spectrale du laser si le laser est accordable soit en filtrant à l'émission le laser ou à la réception sur le détecteur.

Quelques techniques visent en plus de l'image hyperspectrale à acquérir l'information distance et reconstruire ainsi une **image hyperspectrale laser 3D** [2]. Les systèmes regroupant les techniques récentes que sont l'imagerie laser 3D et l'imagerie hyperspectrale sont très innovantes et vont donc se différencier essentiellement par le choix d'un triplet entre la source laser hyperspectrale (à continuum) ou à une longueur d'onde (si fluorescence), la caméra/détecteur (mesurant en 3D, plus ou moins sensible) et la technique d'analyse spectrale. A noter que le laser, ajoute une autre dimension d'analyse possible : la polarisation.

L'imagerie laser hyperspectrale 3D est une technique complexe qui mélange les contraintes de l'imagerie 3D (traitement du signal pour mesurer la distance puis registration des informations 3D, reconstruction 3D, passage d'un nuage point à un modèle de surface...) et de l'imagerie hyperspectrale qui impose des traitements spécifiques de haut niveau de l'image 2D formée. A chaque voxel (pixel 3D) de l'image est associé un spectre de réflectances.

Les imageurs hyperspectraux ont généralement une résolution spectrale très fine, mais une résolution spatiale plus faible. Il en résulte que certains pixels ne sont alors pas constitués d'un seul élément pur mais de plusieurs composants dont les spectres apportent chacun une contribution au spectre du pixel selon son abondance. Ce type de pixel est appelé pixel mixte. On parle également de pixel hétérogène.

⁹ <http://www.forensiclaser.com/products/revelation.shtml>,
<http://www.coherent.com/products/?1479/TracER-Forensic-Laser-System>, http://www.newport.com/spforensic/Thin-Disk_Laser_datasheet.pdf,
<http://www.photonlines.fr/images/stories/forensique/CrimeLite-4x4%20Photographie.pdf>,
<http://www.spexforensics.com/applications/category/forensic-light-sources>, <http://www.horiba.com/scientific/products/forensics/light-sources/>

¹⁰ <http://www.forensicmag.com/article/optical-filters-and-light-modifiers-forensic-imaging-visible-spectrum?>

¹¹ http://www.optech.ca/pdf/SparView_Laser_Scanning_for_Forensic_Invigation.pdf, <http://www.leica-geosystems.us/forensic/>,
https://www.faro.com/FaroIP/Files/FR_US_LS_IRCGN_fr.pdf

¹² <http://www.photonlines.fr/images/stories/forensique/VSC6000.pdf>

¹³ Pour l'ADN, on prendra garde au niveau d'éclairage laser pour ne pas l'endomager

¹⁴ bis

Pour résoudre le problème posé, il s'agira tout d'abord par une classification utilisant la texture et les formes des objets 3D de segmenter les différentes zones de la scène. Dans une phase de détection des traces d'intérêt appliquée à chacun de ces segments, une approche envisagée est le démixage spectral [3] qui consiste à identifier les signatures spectrales des différents constituants purs de l'imagette appelés aussi pôles de mélange. On cherche à augmenter la visibilité des traces d'intérêt en extrayant leur signature spectrale. Plusieurs méthodes d'extraction et de démixage des constituants purs ont été implémentées à l'ONERA : N-FINDR, ICE (Iterative Constraint Endmember extraction), OSP (Orthogonal Subspace Projection).. L'ensemble de ces méthodes a été testé dans le cadre de l'ANR Syllabes. Une autre approche consiste à réaliser une détection d'anomalie [5] (par exemple, par une méthode RX) car on cherche en général à détecter des traces faibles.

Sur une zone restreinte d'intérêt et à plus forte résolution une fois la détection faite, les imagettes hyperspectrales acquises après avoir été prétraitées par des opérations d'étalonnage peuvent aussi être analysées par différentes méthodes afin de mettre en évidence les motifs liés aux traces. Cette analyse peut consister à appliquer des techniques de réduction de données comme l'ACP (Analyse en Composantes Principales) ou la MNF (Minimum Noise Fraction) basée sur une analyse statistique du contenu de l'image. Cette nouvelle représentation des données peut ensuite être affichée comme une composition colorée ou bien en effectuant automatiquement une classification supervisée (si on sait repérer quelques pixels représentatifs de ce que l'on cherche) ou non supervisée, c'est-à-dire sans donner d'information préalable. A partir de cette mise en évidence des motifs, il est en suite possible de repérer les pixels représentatifs des motifs et d'aller chercher sur les images hyperspectrales les spectres correspondants pour tenter de les classifier par rapport à une base de spectres préalablement renseignés. Une fois réalisée cette étape, il faut ensuite rechercher les bandes qui permettent de mettre en évidence les motifs des différentes classes par un algorithme de sélection basé sur un critère de ressemblance entre spectres (l'angle spectral, Spectral Angle Mapper, SAM)[6]. La dernière étape consiste à fabriquer les images multispectrales à partir de la sélection et à vérifier si l'on peut observer facilement les motifs à partir de ces bandes.

A l'issue d'une rencontre entre l'IRCGN et l'Onera, quelques images ont été réalisées par l'Onera. Tout d'abord, deux tests de visualisation de dépôt de sang séché sont réalisés sur des tissus sombres à l'aide d'imagerie laser continument accordable, soit en réflexion soit par fluorescence. Le dispositif utilisé est une source laser femtoseconde [7] accordable (système TOPAS) couplée à une caméra Andor ICCD intensifiée et synchronisée sur le laser. Le premier tissu est un tissu imprimé de couleur

sombre bariolé. Le deuxième est un tissu uni teint en noir. Pour ces deux études, la visualisation à l'œil du dépôt de sang n'est pas possible à cause du faible contraste. Les résultats sont bruts, sans aucun traitement spécifique ni correction de fonction instrumentale (ex : homogénéisation de l'éclairage laser).

Nous représentons des images obtenues à différentes longueurs d'onde sur le tissu imprimé. On constate que les motifs disparaissent pour certaines d'entre elles. Le procédé d'impression et les agents colorés utilisés sont effectivement optimisés sur la bande la plus sensible pour l'œil humain. En revanche, le dépôt de sang séché reste lui visible, et une illumination laser à 800 nm optimise le contraste. Une image photographique du tissu indique que les tâches ne sont pas visibles à l'œil nu.

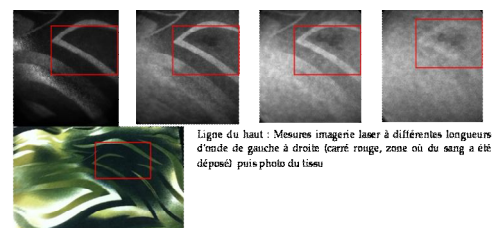


FIG. 1 : Images multispectrale laser de traces de sang

Sur ce même tissu, nous avons ensuite conduit, à l'aide de caméras hyperspectrale en réflexion et un éclairage passif, différents tests de traitements hyperspectraux évoqués précédemment. Nous avons obtenu des premiers résultats encourageants qui montrent la visualisation de traces de sang après un traitement hyperspectral.

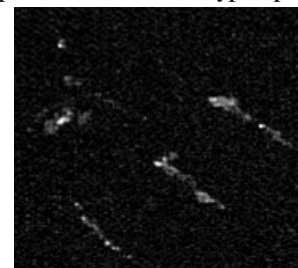


FIG. 2 : Détection hyperspectrale de traces de sang

4. Description succincte du projet

Les points durs à lever sont nombreux. Le plus important concerne la variabilité des indices/marqueurs à détecter et à visualiser, dans des conditions de scène d'infraction elles mêmes très différentes. Le choix des cas pertinents à étudier est donc délicat. De plus, l'IRCGN et la SDPTS identifient deux familles de scénarii à analyser : en intérieur et en extérieur. Pour résoudre ce problème, l'équipe projet sera tout d'abord formée aux techniques d'investigation usuelle. Une analyse fonctionnelle sera ensuite conduite pour identifier les scénarios types avec nos partenaires puis définir et réaliser une base complète

d'échantillons. Nous construirons et évaluerons notre solution sur celle ci.

Malgré cette très grande variabilité, l'ambition du projet SHERLOC est de pouvoir détecter puis visualiser les indices/marqueurs pour tous ces échantillons. En conséquence, la méthode innovante retenue pour mener l'étude et le dimensionnement **du démonstrateur est l'imagerie hyperspectrale laser 3D** mais **l'apport complémentaire d'autres techniques comme l'analyse polarimétrique sera aussi regardé.**

A l'issue de cette phase d'analyse fonctionnelle, une démarche de spécification et de développement d'une maquette en laboratoire sera lancée. Des traitements hyperspectraux permettant la détection seront étudiés, à savoir :

- la détection d'anomalies pour identifier des pixels atypiques rares sur l'image se différenciant du reste de l'image (appelé « fond »)
- des méthodes de classification supervisée ou non,
- des méthodes recherchant les signatures spectrales des composants purs sur l'image. Cette signature peut alors permettre d'identifier le matériau ou le produit visualisé. Ces méthodes peuvent également être couplées à la détection d'anomalies pour d'une part caractériser le fond, et d'autre part détecter les traces plus ténues d'autres composants.

Avec les signatures spectrales ainsi mises en valeur, l'état de l'art montre que la réduction du nombre de bandes spectrales à traiter ne dégrade pas la performance des traitements tout en les facilitant/accéléralant. Il s'agit ici de résoudre un autre point dur en proposant une utilisation souple par la police scientifique des chaînes de traitement. **L'un des objectifs de l'étude sera donc par une analyse hyperspectrale de sélectionner les meilleures bandes pour développer un démonstrateur 3D hyperspectral et un traitement multi spectral, répondant aux besoins et à une utilisation opérationnelle**, à savoir la détection de traces/objets les plus variés (sang, produits chimiques ou biologiques...), rapidement et avec une bonne reproductibilité et un faible taux de fausses alarmes. L'autre challenge sera, une fois la détection assurée, de proposer lorsque cela est faisable, une visualisation à résolution accrue la plus contrastée possible de cet indice et éventuellement, de classifier ce marqueur par une analyse hyperspectrale.

Pour vérifier la tenue de ces objectifs techniques, les performances instrumentales de ce démonstrateur seront quantifiées puis l'apport de ce démonstrateur sera évalué sur la base d'essais opérationnels réalisés par nos partenaires qui seront comparés avec les techniques usuelles dont ils disposent. Pour finir, le dernier verrou concerne l'ergonomie du système et de l'interface proposée aux utilisateurs. Il est en effet nécessaire que le démonstrateur prenne déjà en compte les aspects poids, robustesse, autonomie et bien entendu une interface des

plus faciles d'utilisation. Compte tenu de l'état de l'art et de nos connaissances antérieures, le projet SHERLOC partira d'un niveau de TRL se situant entre 2 et 3 pour atteindre un niveau 5, correspondant à un prototype testé dans un environnement simulé. Si la démonstration opérationnelle s'avère concluante, nous serons proches du niveau 6.

En parallèle, une étude détaillée sera conduite sur la réception du nouveau mode de preuve PAGE : 6 que constituerait Sherloc en matière pénale et, plus particulièrement, en procédure pénale en France en respectant les différents stades chronologiques du procès pénal. L'étude sera ensuite élargie à l'Europe et à l'International, dans la perspective, pourquoi pas, d'une utilisation mondialisée de Sherloc.

5. Apports du projet Sherloc

L'objectif du projet SHERLOC est donc de **développer un imageur laser détectant à distance les traces d'un certain nombre de produits (sang, produits chimiques ou biologiques...) sur une scène d'infraction**. Ce procédé non intrusif, fiable (sensibilité maximale, et probabilité faible de faux positifs) devra offrir une sécurité oculaire adaptée à l'utilisation. Dans la mesure du possible, l'instrument devra permettre aussi **une visualisation directe de certains de ces indices**. La détection et la visualisation devront être reproductibles, donc indépendantes des conditions d'illumination et elles seront géolocalisées sur la scène (imagerie 3D). **L'imageur devra être transportable, utilisable en automatique et pilotable à distance sur une scène de crime**, en environnement intérieur ou extérieur.

L'interprétation ou le prélèvement de ces traces, c'est-à-dire l'analyse de l'expert, ne font pas partie de ce projet. Il s'agit effectivement d'une démarche empirique, au cas par cas, et l'expérience du spécialiste de scène d'infraction est non remplaçable par une machine. Toutefois, nous essayerons dans la mesure du possible d'insérer SHERLOC dans la démarche de l'investigation scientifique, à savoir d'une part de fournir une aide à l'identification de l'indice lorsque cela est possible et d'autre part, de mettre en place des méthodes automatiques favorisant la pertinence en soutien de l'intervenant, de son savoir faire et de son expérience dans un souci d'uniformisation de la recherche de marqueurs. **SHERLOC offrira ainsi un support efficace à l'expert sans s'y substituer**. Par ailleurs, la valeur juridique de l'avis d'expertise sera étudiée et il s'agira d'évaluer à ce titre l'apport d'une telle aide à la détection/visualisation/classification/identification de traces sur une scène d'infraction.

Références

- [1] M. L. Nischan et al. "Active Spectral Imaging", Vol. 14, No 1, 2003 Lincoln Lab Journal.
- [2] Yuwei Chen et al. "Two-channel Hyperspectral LiDAR with a Supercontinuum Laser Source", Sensors 2010, 10.
- [3] Nirmal Keshava. A survey of spectral unmixing algorithms. Lincoln Laboratory Journal, 14(1), 2003.
- [4] Melier et al., Gunshot residues analysis by endmember extraction method on hyperspectral image, Submitted article soumis à la conférence Whispers 2013 présentation réalisée lors de la conférence de la Société Française de Télédétection Hyperspectrale les 18 et 19 juin 2012
- [5] Chein-I Chang , Anomaly Detection and Classification for Hyperspectral Imagery, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 40, NO. 6, JUNE 2002
- [6] P. Deliot, B. Corcelle, V. Achard, T. Dartigalongue, A. Desmarais, and C. Giacometti, "Preliminary results to define an active multispectral imager for gunshot residues patterns visualization," Whispers, 2012
- [7] F.-X. d'Abzac, M. Kervella, L. Hespel, and T. Dartigalongue, "Experimental and numerical analysis of ballistic and scattered light using femtosecond optical Kerr gating: a way for the characterization of strongly scattering media", Optics Express, Vol. 20, Issue 9, pp. 9604-9615, 2012