

Titre	Développement de l'émetteur et du récepteur hyperfréquence d'un système Lidar-Radar pour des applications optiques marines
Contexte	<p>La sécurité maritime (navigation en zone dangereuse (zones côtières, voies maritimes nouvelles), en zones de conflit (guerre de mines)), et la surveillance de l'environnement marin (détection d'objets flottants dérivants, récupération d'objets perdus à la mer) sont des sujets de recherche d'actualité. Cependant, les techniques de détection classiquement utilisées présentent de nombreuses limitations. En effet, l'utilisation du sonar pour la détection de cibles ou obstacles faiblement immergés (quelques mètres) est difficilement envisageable en raison de la proximité de l'interface et les systèmes radar classiques ne peuvent pas être utilisés directement pour la détection sous-marine car les ondes hyperfréquences ne pénètrent pas l'eau. Puisqu'une impulsion optique située dans le bleu-vert, pénètre relativement bien le milieu marin sur quelques dizaines de mètres (atténuation minimale du milieu à ces longueurs d'ondes), le LIDAR ((Light Detection and Ranging) peut constituer une réponse potentielle à cette problématique. Cependant, les techniques basées sur la détection cohérente inspirée par les avancées des radars ne peuvent pas être appliquées directement au signal optique car la lumière perd rapidement sa cohérence lors de la propagation dans l'eau. Ce désavantage se traduit par une perte de la portée et un faible contraste des cibles détectées dans le domaine optique. Il paraît donc naturel d'envisager de tirer bénéfice de ces deux comportements complémentaires (capacité de propagation d'une onde optique en milieu marin et traitements radar sophistiqués) en combinant les technologies optique et radar afin d'améliorer la résolution et la sensibilité des systèmes de détection et de localisation de cibles sous-marines. Ceci conduit à proposer un nouveau schéma de détection actif associant un lidar impulsif et un système de modulation et filtrage dans la gamme des hyperfréquences [1], [2]. Des études préliminaires sur ce sujet ont été conduites au LSOL depuis quelques années sur ce concept d'association lidar-radar. Le LSOL a conçu et développé une première version rudimentaire de maquette lidar modulée en hyperfréquence. Cette maquette a été testée expérimentalement en laboratoire et dans un bassin à houle, dans un contexte de guerre des mines et les premiers résultats obtenus sont plus que prometteurs [3-5]. Des équipements conséquents (laser, colonne d'eau turbide, dispositifs de détection et d'acquisition performants) sont disponibles au LSOL pour mener à bien les travaux envisagés.</p>
Objectifs identifiés	<p>Le sujet d'étude proposé porte sur le développement d'une technique de détection lidar afin de détecter à l'avant d'un navire ou depuis la terre des objets flottants et/ou immergés à une distance allant de quelques centaines de mètres jusqu'à 1 km avec des profondeurs d'immersion allant jusqu'à une dizaine de mètres. Le sujet portera sur l'étude et l'optimisation de l'architecture globale de ce système de détection novateur en portant une attention particulière sur le bloc d'émission mais également sur le bloc de réception du système compte tenu du très faible niveau des signaux rétrodiffusés par la cible. En effet, dans un contexte de sécurité oculaire, le niveau du signal émis devra être limité et dans la configuration de rasance envisagée, le signal rétrodiffusé et détecté par le récepteur sera d'un niveau extrêmement faible. Les développements réalisés durant cette thèse concerneront à la fois les parties émission et réception du système ainsi imaginé. Au niveau de l'émetteur, il s'agira de définir la structure du modulateur la plus adaptée pour optimiser la puissance émise et la forme d'onde en vue de réaliser un filtrage optimal en détection, afin de maximiser les performances en termes de rapport signal à bruit. Une comparaison devra être faite au niveau du modulateur entre une solution basée sur un modulateur externe constitué par des lignes à retard (solution actuellement développée dans la maquette du LSOL) et un nouveau modulateur utilisant un résonateur Fabry-Pérot. La mise en forme du signal émis devra être optimisée en réfléchissant en même temps au système de réception. Au niveau du récepteur, le principe de détection dans ce contexte de rasance ayant été démontré lors de travaux antérieurs, il va falloir concevoir et mettre au point un récepteur ultra-performant compte tenu des très faibles niveaux de signal. Le besoin opérationnel en Guerre des Mines impose en effet de développer un système à sécurité oculaire. Cet aspect présente une difficulté importante. En effet, le signal optique détecté étant très faible, le circuit hyperfréquence de réception devra présenter de très bonnes performances en termes d'amplification, filtrage et traitement des données. Il sera constitué d'un amplificateur faible</p>

	<p>bruit (LNA) centré autour de la fréquence de travail, auquel il faudra associer un filtre pour récupérer le signal en bande de base et une partie d'acquisition numérique afin d'assurer le stockage et le traitement des données. Une partie importante du travail concernera la conception de l'architecture du récepteur de manière à obtenir un rapport signal à bruit (SNR) suffisant pour assurer la détection de la cible. Il faudra en particulier faire une étude théorique particulièrement poussée sur la contribution du bruit sur l'ensemble du dispositif de détection avant d'envisager la réalisation d'un système de réception.</p> <p>L'ensemble des travaux réalisés durant la thèse auront comme aboutissement la réalisation d'une nouvelle maquette lidar optimisée qui sera validée par des essais de détection en mer avec le soutien de partenaires industriels (DCNS et DGA).</p>
<p>Caractère novateur</p>	<p>Le contexte de détection proposé est novateur car il n'existe pas à l'heure actuelle de capteur autre que la veille humaine capable de répondre à ce besoin de détection. En effet, les capteurs "classiques" tels que le radar et le sonar sont inefficaces dans un tel contexte (les ondes radar ne pénètrent pas dans l'eau et la proximité de la surface est un obstacle à l'utilisation du sonar).</p> <p>La méthodologie envisagée repose sur un codage particulier de l'onde optique (modulation hyperfréquence de la porteuse optique impulsionnelle) permettant au moyen d'un filtrage à la détection de s'affranchir des échos parasites de rétrodiffusion volumique et d'interface.</p> <p>L'idée maîtresse à l'origine du concept du lidar modulé en hyperfréquence repose sur une caractéristique tout à fait remarquable de la réponse fréquentielle de la rétrodiffusion volumique d'une colonne d'eau de mer : celle-ci possède une fonction de transfert de type passe-bas avec une fréquence de coupure de l'ordre d'une centaine de MHz [1,6], cette fréquence de coupure dépendant bien évidemment des caractéristiques diffusantes de la colonne d'eau, alors que la réponse fréquentielle d'une cible immergée 'miroitante' peut être considérée comme indépendante de la fréquence.</p> <p>Ainsi en modulant temporellement l'impulsion laser émise à une fréquence à la fois très inférieure à la fréquence de la porteuse optique (6.10^{14} Hz) et très supérieure à la fréquence de coupure de la colonne liquide diffusante séparant l'émetteur de la cible, il est possible par un traitement adapté d'améliorer grandement la détection de la cible [7].</p> <p>L'objectif ambitieux affiché consistant à détecter une cible immergée à une profondeur jusqu'à une dizaine de mètres et située à une distance de 1 km en configuration de rasance constitue un réel challenge répondant en premier lieu à une préoccupation de défense nationale. A notre connaissance à ce jour aucun système n'est capable de détecter dans de telles conditions.</p>
<p>3 publications du (des) porteur(s) de projet dans le domaine sur les 5 dernières années</p>	<p>V. JEZEQUEL, F. AUDDO, F. PELLEN and B. LE JEUNE, "Experimentally based simulations on modulated lidar for shallow underwater target detection and localization" Invited Paper, SPIE Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Region, Proceedings of the SPIE, Vol. 7825, September 2010.</p> <p>V. JEZEQUEL, F. PELLEN, A. MANCHEC, Y. CLAVET, B. LE JEUNE, "Conception d'un filtre hyperfréquence analogique pour le traitement de données lidar modulé" 17ème Journées Nationales Microondes, Mai 2011</p> <p>F. PELLEN, V. JEZEQUEL, G. ZION and B. LEJEUNE, "Detection of an underwater target through modulated lidar experiments at grazing incidence in a deep wave basin" Appl. Opt. 51, 7690-7700 (2012).</p>
<p>Collaborations nationales et internationales</p>	<p>Le LSOL (Laboratoire de Spectrométrie et Optique Laser – EA 938) sera la porteur principal du projet. Le LSOL développera la partie optique du système et assurera la validation expérimentale du dispositif. La société DCNS interviendra en tant qu'utilisateur final pour l'application guerre des mines du sujet et spécifiera notamment le cahier des charges pour cette application. Des essais de détection en bord de mer seront envisagés en fin de thèse en partenariat et avec le soutien de DCNS et de la DGA. La partie conception du récepteur hyperfréquence sera effectuée avec le soutien l'équipe DIM du Lab-STICC, la réalisation des composants hyperfréquences étant sous traitée à la société Elliptika qui possède une maîtrise dans ce domaine.</p>

Retombées	L'axe principal de valorisation des travaux réalisé durant la thèse portera sur le développement d'un nouveau capteur pour des applications en guerre des mines (GDM). Les développements réalisés ont toutefois d'autres applications potentielles, puisque le principe novateur de modulation hyperfréquence et de filtrage peut conduire à des applications non seulement de détection mais également de communication ou encore d'imagerie en milieu turbide. Les travaux envisagés tant sur la source que sur le récepteur, ouvrent la voie au développement de systèmes légers pouvant à terme être intégrés sur des drones, mais également conduire à une amélioration des performances de systèmes bathymétriques aéroportés, en complément de l'application immédiate de GDM visée.
------------------	--

Références :

[1] L.J. MULLEN, A.J.C. VIEIRA, P.R. HERCZFELD. "Application of RADAR Technology to Aerial LIDAR Systems for Enhancement of Shallow Underwater Target Detection", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 43, n° 9, September 1995.

[2] L.J. MULLEN, B. COCHENOUR, A. LAUX, D. ALLEY "Optical modulation techniques for underwater detection, ranging and imaging", Proceeding SPIE, 2011

[3] F. PELLE, V. JEZEQUEL, G. ZION and B. LEJEUNE, "Detection of an underwater target through modulated lidar experiments at grazing incidence in a deep wave basin" Appl. Opt. 51, 7690-7700 (2012).

[4] V. JEZEQUEL, F. AUDE, F. PELLE and B. LE JEUNE, "Experimentally based simulations on modulated lidar for shallow underwater target detection and localization" Invited Paper, SPIE Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Region, Proceedings of the SPIE, Vol. 7825, September 2010.

[5] V. JEZEQUEL, F. PELLE, A. MANCHEC, Y. CLAVET, B. LE JEUNE, "Conception d'un filtre hyperfréquence analogique pour le traitement de données lidar modulé" 17ème Journées Nationales Microondes, Mai 2011

[6] F. PELLE, X. INTES, P. OLIVARD, et al. "Determination of sea-water cut-off frequency by backscattering transfer function measurement". Journal of Physics D : Applied Physics (2000) 33(4), 349-354.

[7] F. PELLE, P. OLIVARD, Y. GUERN, et al. "Radio frequency modulation on an optical carrier for target detection enhancement in sea-water". Journal of Physics D : Applied Physics (2001) 34(7) : 1122-1130.