



**DOSSIER DE CANDIDATURE  
A UNE ALLOCATION DE RECHERCHE  
POUR LA RENTREE 2019**

Dossier complété et revêtu des signatures à transmettre impérativement pour le:  
**18 décembre 2018 au plus tard,**  
A la Direction de la Recherche et Valorisation  
secretariat.recherche@univ-littoral.fr

**Titre de la thèse : Nonlinear signal processing applied to soil moisture estimation with GNSS-Reflectometry**

**Laboratoire d'accueil ULCO : Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale (LISIC)**

**Priorité du laboratoire, tous supports de financements confondus : Non Concerné**

**Directeur de thèse ULCO : Serge REBOUL**

**Merci de renseigner l'ensemble des demandes de financements envisagées pour ce sujet (NB : Les demandes peuvent porter sur plus de deux cofinanceurs envisagés):**

Région 50 % (Dans ce cas, ne pas oublier de remplir également le dossier « Région »)

PMCO 50 %

ULCO 50 %

ULCO 100 %

ADEME 50 %

ADEME 100 %

Autre Financier 50 %, préciser le financier :

Autre Financier 100 %, préciser le financier :



### **LIBAN - Université Libanaise**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire

- Thématique :

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme

### **LIBAN - CNRS Libanais**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire

**Co-Directeur de thèse : Ghaleb FAOUR, Centre National de Télédétection (CNT), Conseil National de la Recherche Scientifique Liban (CNRS-L)**

- Thématique : (6)

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme**

### **ALGERIE - Université Badji Mokhtar d'Annaba (UBMA)**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire

- Thématique :

- (1) La gestion et le traitement des déchets,
- (2) L'aménagement littoral et portuaire,
- (3) Le milieu aquatique,
- (4) La surveillance et la gestion durable des Infrastructures.



### **\*LABORATOIRE D'ACCUEIL**

Nombre de HDR dans le laboratoire : 16

Nombre de thèses encadrées dans le laboratoire (rentrée 2018) : 18

Durée moyenne des thèses soutenues dans le laboratoire, sur la période 2014-2018 : 39 mois

### **ENCADREMENT**

Nom, Prénom du directeur de laboratoire : Christophe Renaud

Nom, Prénom du directeur de thèse (si différent du directeur de laboratoire) : Serge REBOUL (LISIC)

Nombre de doctorats en préparation sous la direction du directeur de thèse : 2

Avis détaillé du directeur de thèse :

This PhD enters into a collaboration with the Center for Remote Sensing of the Lebanon National Council for Scientific Research. This work is supervised in co-direction by Ghaleb Faour of the Center for Remote Sensing and Serge Reboul of the LISIC laboratory of the University of "Littoral Côte d'Opale" (ULCO). The PhD subject is in the research thematic of the CPER MARCO (A research project funded by the French state and the region: « Recherche MARine et littorale en Côte d'Opale ») and in the thematic of the federative research laboratory « Campus de la Mer » of ULCO. The research developed in this thesis is in the domain of information fusion and signal processing. The aim of this research is to continue to develop activities in the field of GNSS signals processing and to apply it, in collaboration with the Center for Remote Sensing, to earth observation.

Signature du directeur de thèse

A handwritten signature in blue ink that reads 'Reboul'.

Avis détaillé du directeur de laboratoire :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration existante entre notre laboratoire et le CNRS libanais, sur une thématique reconnue de l'équipe specifi. Elle correspond également à des recherches identifiées tant au sein du CPER Marco que du projet de SFR Campus de la Mer. Pour toutes ces raisons j'émets un avis favorable à son financement.

Signature du directeur de laboratoire

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'C' followed by a horizontal line.



## **PROJET DE THESE**

Intitulé du projet de thèse : Nonlinear signal processing applied to soil moisture estimation with GNSS-Reflectometry

Domaine scientifique : Traitement du signal (CNU61)

Résumé (1/2 page maxi.) :

Climate change causes a growing number of meteorological hazards and extreme events. An increasing number of violent and unpredictable hurricanes and floods have indeed been observed over the last years. In Europe and France in particular, floods are the main cause of damage to infrastructures and population. One of the stages of monitoring floodplains is to measure the rivers levels and currents, as well as the soil moisture, in real time. A GNSS-Reflectometry (GNSS-R) sensor embedded on board a UAV is able to realize all these measurements simultaneously. It also allows to easily and quickly reach the area to monitor. A GNSS-R sensor can also precisely locate and date its data. Moreover, such an instrument has a reduced development cost as compared to the current monitoring systems, which are based on satellite imaging.

The project will foster the application of GNSS-R from a UAV (Unmanned Aerial platform) and the related development of algorithms to retrieve soil moisture. The developments shall focus on GNSS soil moisture estimation relying on the expertise of the LISIC in this domain. The assessment and implementation of the proposed approach in real cases rely on the expertise of the CNRS in the earth observation domain. The use of a UAV as GNSS-R platform offers dedicated applications for Earth surface remote sensing at the regional scale. Observations from UAVs, e.g., can prospectively improve flood monitoring in local areas.

Projet de thèse (5 pages maxi.) :

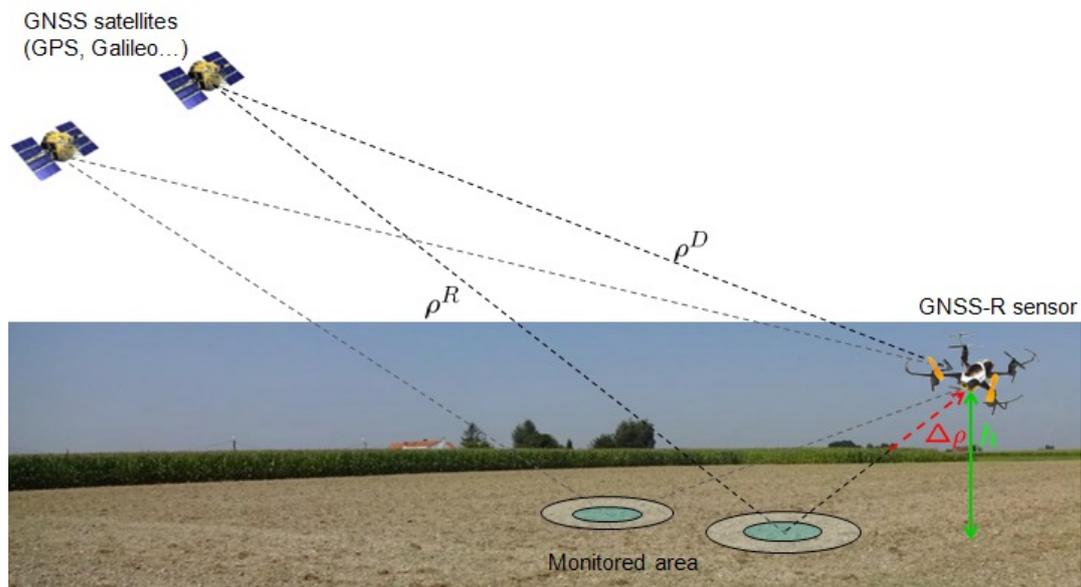
***Développer sur cinq pages :***

- 👉 **Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique**
- 👉 **L'état du sujet dans le laboratoire et l'équipe d'accueil**
- 👉 **Le programme et l'échéancier de travail**
- 👉 **Les retombées scientifiques et économiques attendues**
- 👉 **Les collaborations prévues et une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet**

### 1. Sujet de recherche et contexte scientifique

Climate change causes a growing number of meteorological hazards and extreme events. An increasing number of violent and unpredictable hurricanes and floods have indeed been observed over the last years. In Europe and France in particular, floods are the main cause of damage to infrastructures and population. One of the stages of monitoring floodplains is to measure the rivers levels and currents, as well as the soil moisture, in real time. A GNSS-Reflectometry (GNSS-R) sensor embedded on board a UAV is able to realize all these measurements simultaneously. It also allows to easily and quickly reach the area to monitor. A GNSS-R sensor can also precisely locate and date its data. Moreover, such an instrument has a reduced development cost as compared to the current monitoring systems, which are based on satellite imaging.

GNSS-R consists in using, as signals of opportunity, the radionavigation signals (GPS, Galileo...) received on Earth directly from the GNSS satellites as well as after a reflection on the Earth surface. By comparing the direct and the reflected signals, it is possible to estimate some parameters of the reflecting surface such as its height, shape or moisture.



One of the axes of research of the LISIC laboratory's SPECIFI team is Earth observation using GNSS-R. The studied applications are water altimetry, water currents determination and soil moisture estimation. A PhD thesis was defended in 2016 at the LISIC and the centimeter precision was reached for the altimetry application, for a static ground-based receiver and for datasets over  $\sim 10s$



durations. Several original GNSS signal processing techniques were developed in order to obtain this accuracy [6-15]. The SPECIFI team disposes for this application of an octocopter drone, in the context of the CPER Marco project. The assessment and implementation of the proposed approach in real cases rely on the expertise of the Lebanese CNRS in the earth observation domain. The use of an UAV as GNSS-R platform offers dedicated applications for regional scale Earth surface remote sensing. Observations from UAVs, e.g., can prospectively improve flood monitoring in local areas.

CNRS and ULCO plan initial joint GNSS-R flight experiments to develop integrated UAV platforms for reflectometry. The experiments will strategically concentrate on two specific regions and the related geoscientific application. One region is in Lebanon. The other region is in the North Sea coast in France.

The first aim of the PhD will thus be to develop GNSS signal processing techniques for airborne reflectometry and to assess them on real data. The data will be recorded using an original sensor developed in the LISIC laboratory.

The Signal to Noise Ratio (SNR) of a reflected GNSS signal is a function of the moisture of a flat surface of reflection. However, the SNR of a GNSS signal is also a function of the conditions of its propagation. This is the reason why a bi static system is considered in order to get the direct signal as a reference to process the reflected GNSS signal. The difference of SNR between these two signals is linked with the soil moisture information. The SNR of a GNSS satellite signal is the ratio between the amplitude of the signal and the noise on the signal at the output of the antenna. A GNSS antenna perceives a combination of all the GNSS signals from the satellites in view. In this context the inversion of the antenna measurement models to retrieve the SNR for each satellite is an ill posed problem. However, each satellite signal can be isolated in the demodulation and de-multiplexing steps thanks to its CDMA code. In the published works, it is the statistic of the so obtained in-phase and quadrature components that are used to estimate the SNR of each satellite [3,4,5]. We show that, for a one bit quantization receiver, the in-phase component provides a direct observation of the SNR [2]. However, the model that links the 1 ms rate observations of the in-phase component with the SNR of the signal is non linear. The main goal of our research is to propose a new model for GNSS reflectometry and its inversion.

A second theoretical aspect of the thesis will be the determination of an optimal drone trajectory. Such a trajectory will be constrained by the measurement instants, the kinematic limits of the UAV (in particular, its speed and acceleration) and the satellites constellation geometry. A Geographic Information System will be developed during the PhD, based on precise GNSS satellites ephemeris, in order to automatically provide the number and the position of the satellites footprints over the experimental zones and according to the drone trajectory. The aim of this study will be to predict the trajectory to follow in order to comply with the flight constraints and to maximize the quality of the experiments data.

In addition to the drone, the LISIC SPECIFI team disposes for the PhD work of all the scientific hardware required for the sensing and digitizing of GNSS-R signals, as well as the hardware for the determination of the drone position: specific GNSS antennas, scientific receivers, multichannel bit grabbers, inertial sensors...



Using these tools requires an expertise that the PhD student will acquire during the project.

## **2. Etat du sujet dans le laboratoire**

L'étudiant intégrera l'équipe Systèmes de Perception et Fusion d'Informations (Specifi) du laboratoire LISIC qui est composée de 13 enseignants chercheurs. Il sera co-encadré par Georges STIENNE et Serge REBOUL au LISIC. Les axes de recherche sont : le traitement statistique de l'information appliquée à la géolocalisation. Cette équipe travaille en collaboration avec l'entreprise Syntony sur la réalisation de récepteurs de réflectométrie GNSS qui seront utilisés dans cette thèse. Cette collaboration a été récompensée par le prix FIEEC 2017 de recherche appliquée, qui souligne la création de croissance et d'emploi dans l'entreprise.

Georges STIENNE, est maître de conférences dans le domaine du génie informatique et du traitement du signal depuis l'année 2015-2016. Il est l'auteur d'une vingtaine d'articles et de communications avec actes dans les domaines du traitement des signaux circulaires et de la réflectométrie GNSS. Georges Stienne applique ses recherches en traitement du signal et fusion d'informations dans le domaine des GNSS depuis 2010. Il a encadré deux stages de master dans ce domaine. Il a réalisé un post-doctorat à l'université Purdue, en 2014-2015, dans le cadre d'un projet NASA-IIP pour la mesure de taux d'humidité par réflectométrie aéroportée.

Serge REBOUL est Professeur des Universités dans le domaine du traitement du signal et de la fusion d'informations. Il est auteur d'une cinquantaine d'articles et communications avec actes. Serge Rebul applique ses recherches au domaine des GNSS depuis 2002, et il a encadré sept thèses dans ce domaine. Depuis 2007 il travaille sur la réflectométrie des signaux GNSS. Il est le créateur, avec Monsieur Jean-Luc Issler (CNES), du workshop international SpaceReflecto (<http://www-lisic.univ-littoral.fr/spacereflecto2013/>). Ses travaux dans le domaine des GNSS sont menés en collaboration avec Messieurs M. Martin Neira (ESA), C. Botteron (EPFL), J. Garrison (PurdueUniversity) , J. Wickert (GFZ).

Ce projet s'inscrit dans les axes de recherche de la Structure Fédérative de Recherche Campus de la Mer et du CPER MARCO.

Le LISIC dispose des moyens matériels pour cette application aussi bien pour la réception des signaux que pour le transport du matériel. Le système de réception présent actuellement au laboratoire est constitué de plusieurs antennes GPS-L1, GPS-L2, Galileo E1, E2 et E5, dont plusieurs en polarisation LHCP pour la réception de signaux après réflexion ; de connectique dédiée (câbles, combineurs et séparateurs de signaux GPS-L1) ; d'un numériseur Silicom permettant d'échantillonner les signaux perçus à une fréquence maximale de 200MHz sur trois voies, avec une synchronisation précise à la nanoseconde, d'un numériseur miniaturisé Syntony pour emport sur drone ; de récepteurs scientifiques Novatel permettant l'enregistrement des informations de navigation en provenance des satellites ; du logiciel GrafNav ; ainsi que d'une centrale inertielle Xsens permettant de déterminer l'attitude du porteur. Concernant le matériel porteur, le laboratoire dispose d'une voiture instrumentée et d'un drone octo-rotors financé par le CPER Marco, capable d'embarquer 3kg de matériel.

## **3. Programme et échéancier de travail**



Le déroulement de la thèse sera le suivant :

- une étude bibliographique qui conduira l'étudiant à une bonne connaissance du problème ;
- étude et mise en œuvre d'algorithmes de trajectographie du drone pour optimiser l'observabilité de la zone d'étude ;
- étude et mise en œuvre de techniques de filtrages non linéaires adaptées à l'application ;
- validation des algorithmes développés sur données réelles.

Les résultats attendus :

- rapport annuel sur l'état d'avancement des travaux ;
- deux publications dans des congrès avec actes ;
- soumission d'une publication dans une revue ;
- soutenance de la thèse en fin de troisième année.

#### **4. Retombées scientifiques et économiques attendues**

Ce projet entre dans le cadre d'une évolution thématique au laboratoire vers des problématiques de recherche appliquées en lien avec la demande du territoire. En effet, le domaine maritime de la façade de la Manche Mer du Nord constitue pour le LISIC un terrain d'expérimentation avec des problématiques définies par les acteurs socio-économiques de son territoire. Une retombée de ce projet est de proposer le prototype d'un système pour la surveillance des zones inondables à l'interface terre mer.

D'un point de vue scientifique, notre objectif est de faire évoluer le capteur de réflectométrie GNSS développé dans le cas statique pour le cas dynamique aéroporté. Dans ce contexte, la première retombée scientifique attendue est de montrer que les signaux GNSS permettent de mesurer en temps réel le taux d'humidité des sols et d'évaluer la précision de la mesure. La seconde retombée scientifique attendue est d'évaluer l'importance de la zone qu'il est possible de surveiller par réflectométrie avec un drone multi-rotors.

Ce nouveau terrain d'application en lien avec les problématiques du territoire Littoral Côte d'Opale nous permet de continuer à développer nos recherches fondamentales dans le domaine de la fusion d'informations et de la perception multi-capteurs.

D'un point de vue économique, notre objectif est d'une part, de développer des collaborations avec les acteurs majeurs du domaine que sont le CNES et l'ESA, et d'autre part de pérenniser les liens existants avec la société Syntony, qui développe et commercialise des récepteurs GNSS. Dans ce contexte, les retombées économiques attendues de ce projet sont les propositions de nouveaux traitements récepteurs qui pourront être embarqués sur des systèmes aéroportés, comme des satellites ou des avions.

#### **5. Les collaborations**

Ce projet de thèse s'inscrit dans une collaboration entre le CNT du CNRS-L et le LISIC de l'ULCO. L'objectif est de mettre en synergie les compétences du CNT



dans le domaine de l'observation de la terre avec les compétences du LISIC dans le domaine du traitement des signaux GNSS. On souhaite dans ce projet évaluer les signaux GNSSR pour la mesure du taux d'humidité des sols.

Dans la phase de validation expérimentale nous envisageons de collaborer avec le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences de l'ULCO pour la mesure in situ du taux d'humidité et avec le « German Research Centre for Geosciences » pour la modélisation des phénomènes physiques.

## **6. Liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet**

- [1] K. M. Larson, E. E. Small, E. Gutmann, A. Bilich, P. Axelrad, and J. Braun, "Using gps multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results," *GPS Solutions*, vol. 12, no. 3, pp. 173-177, Jul 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10291-007-0076-6>
- [2] A. Azmani, S. Reboul, and M. Choquel, J.B. and Benjelloun, "Soil moisture estimation using land-reflected gps l2c bi-static radar measurements," in *Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2010)*, Sept 2010, pp. 1031-1038.
- [3] P. D. Groves, "Gps signal-to-noise measurement in weak signal and high-interference environments," *Journal of The Institute of Navigation*, vol. 52, no. 2, pp. 83-94, 2005.
- [4] D. R. Pauluzzi and N. C. Beaulieu, "A comparison of snr estimation techniques for the awgn channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, no. 10, pp. 1681-1691, Oct 2000.
- [5] S. Satyanarayana, D. Borio, and G. Lachapelle, "C/n0 estimation: design criteria and reliability analysis under global navigation satellite system (gnss) weak signal scenarios," *IET Radar, Sonar Navigation*, vol. 6, no. 2, pp. 81-89, February 2012.
- [6] G. Stienne, S. Reboul, M. Azmani, J.B. Choquel, and M. Benjelloun. GNSS dataless signal tracking with a delay semi-open loop and a phase open loop. *Signal Processing*, 93(5) : p. 1192-1209, 2013.
- [7] G. Stienne, S. Reboul, J.B. Choquel, and M. Benjelloun. Cycle slip detection and repair with a circular on-line change-point detector. *Signal Processing*, 100 : p. 51-63, 2014.
- [8] G. Stienne, S. Reboul, M. Azmani, J.B. Choquel, and M. Benjelloun. A multi-temporal multi-sensor circular fusion filter. *Information Fusion*, 18 : p. 86-100, 2014.
- [9] G. Stienne, S. Reboul, M. Azmani, S. Boutoille, J.B. Choquel, and M. Benjelloun. Bayesian change points estimation applied to GPS signal tracking. *ISRN Signal Processing*, p. 1-11, 2011.
- [10] G. Stienne, Y.C. Lin, J. Garrison, J. Pipmeier, J. Knuble, and K. Hersey, Retrieval of P-band soil reflectivity from signals of opportunity observations using an Extended Kalman Filter. *GNSS+R 2015 Workshop*, Potsdam (Germany), May 2015.
- [11] M.A. Ribot, J.C. Kucwaj, C. Botteron, S. Reboul, G. Stienne, J. Leclère, J.B. Choquel, P.A. Farine, and M. Benjelloun. Normalized GNSS Interference Pattern Technique for Altimetry. *Sensors*, 14 : p. 10234-10257, 2014.



- [12] J. C. Kucwaj, G. Stienne, S. Reboul, J. B. Choquel, and M. Benjelloun. Accurate Pseudorange Estimation by Means of Code and Phase Delay Integration : Application to GNSS-R Altimetry. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(10) : p. 4854–4864, Oct 2016.
- [8] J. C. Kucwaj, S. Reboul, G. Stienne, J. B. Choquel, and M. Benjelloun. Circular Regression Applied to GNSS-R Phase Altimetry. *Remote Sensing*, 9(7) : p. 1-19, June 2017.
- [13] J. C. Kucwaj, M. A. Ribot, G. Stienne, C. Botteron, S. Reboul, J. B. Choquel, P. A. Farine, and M. Benjelloun. Calibration of the GNSS signal amplitudes in the Interference Pattern Technique for altimetry. *International Radar Conference, Lille (France)*, p. 1-6, Oct 2014.
- [14] J. C. Kucwaj, G. Stienne, S. Reboul, J. B. Choquel, and M. Benjelloun. High rate interference pattern technique applied to real time altimetry. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing (China)*, p. 5631–5634, July 2016.
- [15] J. C. Kucwaj, G. Stienne, S. Reboul, J. B. Choquel, and M. Benjelloun. A model-based angle unwrapper: Application to the GNSS-R Interference Pattern Technique. *19th International Conference on Information Fusion (FUSION), Heidelberg (Germany)*, p. 2095–2100, July 2016.