



**DOSSIER DE CANDIDATURE
POUR THESE EN COTUTELLE
POUR LA RENTREE 2021
FINANCEMENT : BOURSE**

Dossier complété et revêtu des signatures à transmettre impérativement pour le :
26 mars 2021 au plus tard,

A la Direction de la Recherche et Valorisation
secretariat.recherche@univ-littoral.fr

Titre de la thèse : Réflectométrie GNSS aéroportée pour l'estimation du taux d'humidité des sols.

Laboratoire d'accueil ULCO : LISIC

Directeur de thèse ULCO : REBOUL Serge

Si nouveau partenariat (absent ci-dessous) merci de nous indiquer l'université d'origine, le directeur de thèse, le laboratoire, ainsi que les conditions de financement du doctorant dans le pays d'origine

☐ LIBAN - Université Libanaise (2 financements)

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 (4 financements)

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire : **Ghaleb FAOUR, Centre National de Télédétection (NCRS)**

- 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) (2 financements)**

- 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.

□ **MAROC - Université Hassan II / HESTIM (UH2C) (4 financements)**

- Thématique :

- (1) Economie Gestion
- (2) Sciences et Technologies

□ **MAROC - Université Mohammed V (4 financements)**

- Thématique :

- (1) Environnement, Milieux Littoraux Marins
- (2) Sciences et technologie
- (3) Santé
- (4) Sciences Humaines et Sociales

*** LABORATOIRE D'ACCUEIL**

Nom du laboratoire d'accueil : LISIC

Nombre de HDR dans le laboratoire : 18

Nombre de thèses encadrées dans le laboratoire (rentrée 2020) : 25

Cotutelles en cours au sein du laboratoire : 12

Durée moyenne des thèses soutenues dans le laboratoire, sur la période 2015-2020 : 3,4 années

ENCADREMENT



Nom, Prénom du directeur de laboratoire : VEREL Sébastien

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

Nombre de doctorats en préparation sous la direction du directeur de thèse : 2 (soutenances en 2021)

Avis détaillé du directeur de thèse :

Le sujet proposé est important car il doit permettre à terme de proposer un système complet d'observation aéroporté de l'état hydrique des sols et du niveau de remplissage des lacs et rivières. Il est novateur car il utilise la réflectométrie GNSS en bandes L1 et L5 et la trajectographie du porteur pour enrichir les observations des surfaces de réflexion. Il est équilibré parce qu'il s'appuie sur une collaboration entre le Centre National de Télédétection du CNRSL, qui a l'expertise sur le traitement des données pré-traitées, et le LISIC de l'ULCO qui a l'expertise sur le capteur utilisé et le traitement des signaux GPS bruts.

Nous donnons un avis très favorable à ce sujet de thèse qui est dans la continuité de la collaboration entre le CNRSL et le LISIC pour le développement du capteur et de l'application. Cette collaboration a déjà produit une thèse dont la soutenance est prévue en décembre 2021.

Signature du directeur de thèse

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

Avis détaillé du directeur de laboratoire :

Ce projet de thèse fait suite au projet de thèse en cotutelle (Hamza Issa, CNRS-L et ULCO). Son domaine d'application concerne l'agriculture et la mesure des zones humides par un système original de réflectométrie GNSSR aéroporté. Les terrains d'expérimentations prévues sont à la fois au Liban, et en France. L'apport et la mise en commun des compétences entre les partenaires sont équilibrées. Les travaux se situent clairement à la pointe des travaux internationaux avec une approche originale et prometteuse en réflectométrie GNSSR. De plus, les travaux s'inscrivent parfaitement dans les thématiques du laboratoire d'observation et d'estimation de grandeurs issues du milieu naturel avec des méthodes de traitement du signal. Pour toutes ces raisons, j'émet un avis très favorable à ce projet de thèse.

Signature du directeur de laboratoire

A handwritten signature in black ink that reads 'Hamza'.



PROJET DE THESE

Intitulé du projet de thèse :

Réflectométrie GNSS aéroportée pour l'estimation du taux d'humidité des sols.

Domaines scientifiques :

Observation de la terre, Estimation du taux d'humidité des sols, Traitement du signal

Résumé :

La thèse proposée est dans le domaine du traitement du signal. Ce travail sera appliqué aux traitements des signaux GPS (Global Positioning System) pour l'observation de la terre. L'objectif est de pouvoir estimer le taux d'humidité des sols et la croissance de la végétation à partir des signaux analysés.

La mesure du taux d'humidité des sols joue un rôle important dans la gestion de la ressource en eau comme la planification de l'irrigation des cultures et l'estimation de leurs rendements. La mesure du taux d'humidité des sols est aussi un paramètre important pour le suivi de l'évolution du changement climatique, elle est notamment utilisée pour la prévision des inondations. Enfin, en lien avec la gestion du taux d'humidité des sols, la surveillance de la croissance de la végétation est une donnée importante dans le domaine de l'agriculture. La mise en place d'un système de surveillance des niveaux de remplissage des réserves d'eau, de la mesure du taux d'humidité des sols et de la croissance de la végétation, nécessite un grand nombre de capteurs au sol interconnectés. Ces réseaux sont difficiles à mettre en place et nécessitent une maintenance importante. Pour surmonter ces difficultés, nous proposons dans notre approche d'utiliser l'observation aéroportée par drone ou autogyre pour avoir une plus grande souplesse et faciliter la mise en œuvre du système de surveillance. L'étude de faisabilité qui sera réalisée conjointement au Liban et en France portera respectivement sur les régions du bassin du fleuve Litani et de l'Audomarois, qui sont des régions agricoles dont la production dépend fortement de l'état hydrique des sols.

Ce travail de thèse sera mené dans le cadre d'une collaboration entre le Centre National de Télédétection du CNRSL (Centre National de la Recherche Scientifique du Liban) et le laboratoire LISIC (Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale) de l'ULCO (Université du Littoral Côte d'Opale). Le Centre National de Télédétection est spécialisé dans les problèmes de gestion de l'eau pour l'agriculture [14,15,16,19] et de l'observation de la terre [17,18,20,21]. Son expertise permettra de développer l'application de ce travail de thèse. Le laboratoire LISIC est spécialiste dans le traitement du signal et l'ingénierie des systèmes GNSS (Global Navigation Satellite System-ensemble des systèmes de géopositionnement par satellites). Le LISIC développe notamment un système d'observation de la terre par réflectométrie GNSSR (Global Navigation Satellite System Reflectometry) qui sera utilisé dans ce travail de thèse.

La réflectométrie GNSSR est un système d'observation de la terre, RADAR bi-statique, qui utilise la comparaison des signaux GNSS provenant de l'espace avec les signaux GNSS réfléchis par la terre. Cette technique est actuellement utilisée pour l'observation de la terre par satellite, à l'échelle mondiale. L'objectif de cette thèse est de montrer les capacités de la réflectométrie GNSS aéroportée pour la mesure du taux d'humidité des sols à l'échelle locale. L'équipe Specifi du laboratoire LISIC travaille dans le domaine du traitement des signaux GPS depuis 2010 [11,12,13] et de la réflectométrie GNSS depuis 2015. Son objectif est de développer des systèmes d'observation locale



depuis le sol ou un avion. Elle a réalisé en collaboration avec l'entreprise Syntony un capteur original de réflectométrie GNSS multivoies et multi-bandes. Les travaux du LISIC dans le domaine de l'altimétrie par GNSS ont permis d'obtenir des mesures avec une précision centimétrique [2,3]. Dans le domaine de l'estimation du taux d'humidité des sols, ils ont montré une bonne adéquation entre les mesures terrain et les mesures obtenues par réflectométrie GNSS [6,7,9,10]. Ces études ont été menées avec des systèmes positionnés au sol. Dans le cadre de la collaboration entre le CNRS-L et le LISIC, l'équipe Specifi a réalisé un système d'observation GNSS aéroporté ayant une grande résolution spatiotemporelle pour travailler à l'échelle locale [1,4,5,8]. Ces résultats font suite au travail de thèse de Mr Hamza Issa (collaboration CNRS-L et ULCO) qui a fait l'objet de plusieurs publications [1,4,5] et du développement d'un premier prototype qui démontre la faisabilité du concept proposé.

Pour ce travail de thèse on dispose de séries chronologiques des signaux réfléchis par la surface de la terre et on souhaite extraire de ces informations le taux d'humidité des sols et l'état de la végétation.

Projet de thèse (5 pages maxi.) :

Développer sur cinq pages :

Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique

Aujourd'hui, la pression environnementale liée à l'activité humaine se ressent particulièrement à l'échelle locale. Elle concerne notamment la gestion de l'eau et la prévention des catastrophes naturelles. La mise en place d'un système de surveillance des niveaux de remplissage des réserves d'eau ou de mesure du taux d'humidité des sols nécessite un grand nombre de capteurs interconnectés. De plus en cas de crise l'évolution de la situation peut nécessiter la modification du réseau de mesure. L'observation aéroportée est dans ce cas l'approche qui offre la plus grande souplesse de mise en œuvre du système de surveillance.

Les ondes électromagnétiques émises depuis l'espace en bande L offrent la meilleure pénétration dans les sols (10 à 30 cm), raison pour laquelle l'ESA et la NASA les ont choisies pour leurs satellites d'observation SMOS et SMAP. La réflectométrie GNSS, qui consiste à observer les signaux GNSS en bande L réfléchis par la Terre, a également fait l'objet d'un grand nombre d'études. Elles ont montré sa capacité à mesurer le taux d'humidité du sol à l'échelle mondiale par des campagnes de mesures satellitaires. L'avantage d'une telle méthode est que l'on dispose à tout instant d'un ensemble de points de mesures fournies par les réflexions des signaux des satellites GNSS en vue.

Dans ce travail on réalise un système aéroporté qui permet une mesure locale du taux d'humidité des sols par réflectométrie GNSS. Le système est facilement déployable et fournit des mesures avec une grande résolution spatiale et temporelle. Il permet donc d'observer le taux d'humidité des sols et le niveau de remplissage des réservoirs d'eau.

Le porteur du capteur GNSS est un autogire qui vole à une faible hauteur (500 m) et avec une faible vitesse (100 Km/h). Dans ce contexte les empreintes au sol du signal radar réfléchi sont de taille réduite (10 m²) et se déplacent à une vitesse similaire au porteur (20 m/s). Notre capteur GNSS utilise le signal GPS en bandes L1 et L5, ce qui permet d'obtenir une mesure simultanée de la réflectivité des surfaces observées toutes les 20 millisecondes et pour l'ensemble des satellites GPS en vue. Les résolutions temporelle et spatiale ainsi obtenues sont beaucoup plus précises que celles des techniques satellitaires RADAR classiques. La datation et le géo référencement des empreintes radar au sol sont obtenus avec une grande précision par GPS. Ce système, qui est unique, permet



d'observer avec précision le taux d'humidité des sols sur une trajectoire d'une longueur de l'ordre de 100 Km.

Dans ce travail de thèse, Le programme de recherche se décline en deux sujets. On réalisera dans le premier sujet la classification des données pour la caractérisation des différents types de zones de réflexion. On s'appuiera pour cela sur des données déjà obtenues pour différentes trajectoires et sur l'étalonnage du système à partir de données terrain. La statistique des signaux n'est pas suffisante pour l'identification des zones de réflexion, on mettra donc en œuvre des techniques de type « Machine Learning » pour résoudre ce problème. Le deuxième sujet du programme de recherche concerne la segmentation des signaux réfléchis. L'objectif est ici de détecter précisément les différentes zones de réflexion dans le signal supposé être stationnaire par morceaux. Dans ce contexte le travail de recherche consiste à montrer l'apport de l'utilisation conjointe des fréquences GNSS L1 et L5 pour la détection des différentes zones dans le signal. On développera pour cela de nouvelles techniques de détection de ruptures qui fusionnent les informations fournies par les signaux GNSS multi-porteuses L1 et L5. Enfin un impact non négligeable de ce sujet de recherche est que l'étudiant en fin de thèse sera un spécialiste dans le domaine de l'ingénierie des systèmes GNSS.

? *L'état du sujet dans le laboratoire et l'équipe d'accueil*

On trouve dans la littérature de nombreux travaux sur la réflectométrie GNSS appliqués à l'altimétrie, la caractérisation de l'état de mer et la vitesse des vents en mer, l'estimation du taux d'humidité des sols... [22]. Il existe aujourd'hui une constellation satellite opérationnelle CyGNSS (Cyclone GNSS) qui utilise cette technique d'observation pour des mesures de vitesse du vent [23]. Des études ont été réalisées au sol, depuis un avion ou un satellite pour montrer l'intérêt de cette approche pour l'estimation du taux d'humidité des sols [24,25,26]. Actuellement l'ESA finance dans le cadre du projet HydroGNSS la construction d'un satellite dédié à la mesure du taux d'humidité par réflectométrie GNSS dont le lancement est prévu en 2024. Le but de l'ensemble de ces études est de préparer une nouvelle mission satellite, donc de développer des traitements temps réel pour produire des observations de faibles tailles qui seront retransmises sur terre. De plus l'objectif est de travailler à l'échelle mondiale car l'observation se fera depuis l'espace.

L'équipe Specifi du laboratoire LISIC travaille dans le domaine de la réflectométrie GNSS depuis 2015 et son objectif est de développer des systèmes d'observation locale depuis le sol ou un avion. Elle a réalisé en collaboration avec l'entreprise Syntony un capteur original de réflectométrie GNSS multivoies et multi-bandes. Les travaux du LISIC dans le domaine de l'altimétrie par GNSS ont permis d'obtenir des mesures avec une précision centimétrique [2,3]. Dans le domaine de l'estimation du taux d'humidité des sols, ils ont montré une bonne adéquation entre les mesures terrain et les mesures obtenues par réflectométrie GNSS [6,7,9,10]. Ces études ont été menées avec des systèmes positionnés au sol. Dans le cadre de la collaboration entre le CNRS-L et le LISIC, l'équipe Specifi a réalisé un système d'observation GNSS aéroporté ayant une grande résolution spatiotemporelle pour travailler à l'échelle locale [1,4,5,8]. Ces résultats font suite au travail de thèse de Mr Hamza Issa (collaboration CNRS-L et ULCO) qui a fait l'objet de plusieurs publications [1,4,5] et du développement d'un premier prototype qui démontre la faisabilité du concept proposé.

? *Le programme et l'échéancier de travail*

Les trois ans de thèse se dérouleront pour moitié au Liban et pour moitié en France. Il est important que l'étudiant soit présent en France d'avril à juin car c'est à cette époque plus clémente en termes de climat



que l'on pourra y réaliser des expérimentations. Nous proposons donc, pour une thèse qui débiterait en octobre, que les trois premiers mois se déroulent au Liban puis par périodes de six mois l'étudiant alternera sa présence entre la France et le Liban.

Le programme de recherche se décline en deux étapes. On réalisera dans une première étape la classification des données pour l'estimation du taux d'humidité des sols. On s'appuiera pour cela sur des données déjà obtenues pour différentes trajectoires et sur l'étalonnage du système à partir de données terrain. La deuxième étape du programme de recherche consiste à montrer l'apport de l'utilisation conjointe des fréquences GNSS L1 et L5 pour l'estimation du taux d'humidité des sols. On développera pour cela de nouveaux algorithmes de traitement des signaux GNSS multi-porteuses pour les signaux réfléchis et la classification des données qui intègre les nouvelles informations dont on disposera. La partie expérimentale et le traitement des signaux GNSS seront réalisés en France, l'analyse et le traitement des données au Liban. En effet le laboratoire LISIC dispose de l'expertise concernant le capteur GNSSR qu'il a réalisé et le traitement des signaux GPS. L'étude sera réalisée pour la zone aride du bassin du fleuve Litani au Liban et pour la zone tempérée du Littoral de la Manche en France. Ces zones offrent une grande variété de surfaces de réflexions : cultures agricoles, étangs, rivières, bois, routes, plages à marées, ... Le traitement des données qui comprend l'estimation du taux d'humidité des sols et sa représentation dans un SIG en vue de construire des cartes d'observations sera réalisé au Centre National de Télédétection du CNRSL, qui en a l'expertise.

? *Les retombées scientifiques et économiques attendues*

Le système proposé sera appliqué au domaine de l'agriculture. Il permettra de suivre l'évolution des plantations comme la croissance de la végétation et l'état hydrique des terres agricoles. Son avantage réside dans sa précision (liée à la surface réduite de l'empreinte au sol du signal radar), qui permettra d'observer des champs de petite taille et donc d'observer une plus grande variété de plantations. La surveillance des rivières, des étangs, et des lacs pour la prévention des inondations pourra aussi être réalisée avec le système proposé. En effet les traces au sol des empreintes de réflexion GNSS sont identiques pour une trajectoire d'autogire répétée à la même heure sur plusieurs journées. Dans ce cas, en comparant le signal GNSS réfléchi obtenu sur plusieurs jours on peut estimer l'évolution de la taille des rivières et des lacs. Le système proposé permettra aussi le suivi de l'évolution des plages à marées. En effet les réflexions sur le sable nous informent sur l'évolution de la plage et sur sa composition : présence de sable, de vasières, de végétation et de galets. Le système que l'on souhaite mettre en œuvre est innovant car il utilise le signal GNSS sur les bandes L1 et L5. Il est aussi innovant car il utilise la trajectoire de l'autogire pour diminuer le temps de revisite et pour disposer de mesures prises avec plusieurs incidences. L'objectif de la thèse est d'obtenir un prototype ayant un niveau 7 de maturité technologique.

? *Les collaborations prévues et une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet*

Le Centre National de Télédétection (NCRS) du CNRS-L et le LISIC de l'ULCO collaborent sur la mise en œuvre d'un capteur GNSSR aéroporté pour l'altimétrie et la mesure du taux d'humidité des sols. Dans ce projet, la thèse de Hamza Issa, qui sera soutenue en décembre 2021, a été co-financée par le CNRSL et l'ULCO. Le sujet de cette thèse était notamment la mise en œuvre du capteur GNSSR aéroporté par un autogire. L'objectif de cette nouvelle thèse co-financée par le CNRSL et l'ULCO est de réaliser l'étude et la mise en œuvre de l'estimation du taux d'humidité des sols à partir des observations GNSSR. Le traitement du signal L5 et le développement du capteur seront réalisés en collaboration avec l'entreprise Syntony.



-----Publications dans le domaine des GNSS-----

- H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, J. WICKERT, A probabilistic model for on-line estimation of the GNSS carrier-to-noise ratio, *Signal Processing*, Volume 183, 2021. Article réalisé en collaboration avec le GFZ et le CNRS-L.
- M. SEMMLING, A. RÖSEL, D. DIVINE S. GERLAND, G. STIENNE, S. REBOUL, M. LUDWIG, J. WICKERT, H. SCHUH, Sea-Ice Concentration Derived From GNSS Reflection Measurements in Fram Strait, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 57, no. 12, pp. 10350-10361, Dec. 2019. Article réalisé en collaboration avec le GFZ.
- J-C KUCWAJ, S. REBOUL, G. STIENNE, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Circular Regression Applied to GNSS-R Phase Altimetry, *Remote Sensing*. 2017; 9(7):651
- J-C KUCWAJ, G. STIENNE, S. REBOUL, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Accurate pseudo-range 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 (JSTARS)*, 9(10), pp. 4854-4864, 2016.
- M.A. RIBOT, J-C KUCWAJ, C. BOTTERON, S. REBOUL, G. STIENNE, J. LECLERE, J.-B. CHOQUEL, P.-A. FARINE, M. BENJELLOUN, Normalized GNSS Interference Pattern Technique for Altimetry, *Sensors*, 14, pp. 10234-10257, 2014. Article réalisé en collaboration avec l'EPFL.

-----Publications dans le domaine du traitement des signaux GPS-----

- G. STIENNE, S. REBOUL, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Cycle Slip Detection and Repair with a Circular On-Line Change-Point Detector, *Signal Processing*, 100, pp. 51-63, 2014.
- G. STIENNE, S. REBOUL, M. AZMANI, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, GNSS dataless signal tracking with a delay semi-open loop and a phase open loop, *Signal Processing*, 93(5), pp.1192-1209, 2013.

Bibliographie :

- [1] H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, J. WICKERT, A probabilistic model for on-line estimation of the GNSS carrier-to-noise ratio, *Signal Processing*, Volume 183, 2021.
- [2] J-C KUCWAJ, S. REBOUL, G. STIENNE, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Circular Regression Applied to GNSS-R Phase Altimetry, *Remote Sensing*. 2017; 9(7):651
- [3] J-C KUCWAJ, G. STIENNE, S. REBOUL, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Accurate pseudo-range 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 (JSTARS)*, 9(10), pp. 4854-4864, 2016.
- [4] H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, AND J. WICKERT, High-rate GNSS Reflectometry Estimates for Airborne Soil-moisture Detection, *EGU General Assembly, Session G5.2 - Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques*, EGU21-11577, Online. April 2021.



- [5] H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, M. SEMMLING, M. RAAD, G. FAOUR, AND J. WICKERT, Airborne Experiment for Soil Moisture Retrieval using GNSS Reflectometry, EGU General Assembly, Session G5.2 – Atmospheric and Environmental Monitoring with Space-Geodetic Techniques, EGU2020-16032.
- [6] SEMMLING, M.; STIENNE, G.; GONTHARET, S.; GERLAND, S.; REBOUL, S. AND WICKERT, J.: "Estimation of Soil Moisture and Sea Ice Concentration – A GNSS Reflectometry Concept", EGU General Assembly, 2019, 21, EGU2019-4521.
- [7] SEMMLING M., G. STIENNE, S. GONTHARET, S. GERLAND, S. REBOUL AND J. WICKERT, "Estimation of Soil Moisture and Sea Ice Concentration - A GNSS Reflectometry Concept", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.
- [8] W. KOUASSI, G. STIENNE, M. SEMMLING, J.C. KUCWAJ, S. REBOUL AND J. WICKERT, "A GNSS-R multirotor UAV platform for soil moisture detection and altimetry", IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), May 2019, Benevento, Italy.
- [9] G. STIENNE, J.-C. KUCWAJ, M. SEMMLING, S. REBOUL, GNSS signals inversion for amplitude estimation: a concept for high-rate reflectometry, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA) 2018, Cartagena de Indias, Colombia, Sept. 10-14, 2018.
- [10] M. AZMANI, S. REBOUL, J.B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN " Soil Moisture Estimation using Land-reflected GPS L2C Bi-static Radar Measurements ", Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of the institute of Navigation, (ION GNSS 2010), Portland, September 2010.
- [11] H. K. W. KOUASSI, H. ISSA, G. STIENNE, S. REBOUL, A linear-circular regression estimate for data fusion: application to GNSS carrier-phase signal processing, Digital signal processing, à paraître.
- [12] G. STIENNE, S. REBOUL, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Cycle Slip Detection and Repair with a Circular On-Line Change-Point Detector, Signal Processing, 100, pp. 51-63, 2014.
- [13] G. STIENNE, S. REBOUL, M. AZMANI, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, GNSS Dataless Signal Tracking with a Delay Semi-Open Loop and a Phase Open Loop, Signal Processing, 93(5), pp.1192-1209, 2013.
- [14] M. MHAWAJ, A. CAISERMAN, A. NASRALLAH, A. DAWI, R. BACHOUR, G. FAOUR: Automated evapotranspiration retrieval model with missing soil-related datasets: The proposal of SEBALI. Agricultural Water Management 12/2019; 229., DOI:10.1016/j.agwat.2019.105938
- [15] M. MHAWAJ, G. ELIAS, A. NASRALLAH, G. FAOUR: Dynamic calibration for better SEBALI ET estimations: Validations and recommendations. Agricultural Water Management 12/2019; 230(1)., DOI:10.1016/j.agwat.2019.105955
- [16] A NASRALLAH, H BELHOUCLETTE, N BAGHDADI, M MHAWAJ, T DARWISH, S DARWICH, G FAOUR: Performance of wheat-based cropping systems and economic risk of low relative productivity assessment in a sub-dry Mediterranean environment. European Journal of Agronomy 12/2019; 113., DOI:10.1016/j.eja.2019.125968
- [17] H. EL HAGE HASSAN, G. FAOUR, L. CHARBEL, L. TOUCHART: Cartographie de l'aléa érosif dans le bassin sud du Litani-Liban. Revue internationale de géomatique 11/2019;, DOI:10.3166/riq.2019.00072
- [18] A. NASRALLAH, N. BAGHDADI, M. EL HAJJ, T. DARWISH, H. BELHOUCLETTE, G. FAOUR, S. DARWICH, M. MHAWAJ: Sentinel-1 Data for Winter Wheat Phenology Monitoring and Mapping. Remote Sensing 09/2019; 11(19):2228., DOI:10.3390/rs11192228



- [19] A. CAISERMAN, D. DUMAS, K. BENNAFLA, G. FAOUR, F. AMIRASLANI: Application of Remotely Sensed Imagery and Socioeconomic Surveys to Map Crop Choices in the Bekaa Valley (Lebanon). 03/2019; 9(3):57., DOI:10.3390/agriculture9030057
- [20] GHALEB FAOUR, MARIO MHAWAJ, ALI NASRALLAH: Global trends analysis of the main vegetation types throughout the past four decades. Applied Geography 08/2018; 97:184-195., DOI:10.1016/j.apgeog.2018.05.020
- [21] A. NASRALLAH, N. BAGHDADI, M. MHAWAJ, G. FAOUR, T. DARWISH, H. BELHOUCLETTE, S. DARWICH: A Novel Approach for Mapping Wheat Areas Using High Resolution Sentinel-2 Images. Sensors 06/2018; 18(7):2089., DOI:10.3390/s18072089
- [22] JIN, S.G.; FENG, G.P.; GLEASON, S. "Remote sensing using GNSS signals: Current status and future directions". Adv. Space Res. 2011, 47, 1645–1653.
- [23] C. S. Ruf, S. Gleason and D. S. McKague, "Assessment of CYGNSS Wind Speed Retrieval Uncertainty," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 12, no. 1, pp. 87-97, Jan. 2019
- [24] EGIDO, A.; CAPARRINI, M.; RUNI, G.; PALOSCIA, S.; SANTI, E.; GUERRIERO, L.; PIERDICCA, N.; FLOURY, N. "Global navigation satellite systems reflectometry as a remote sensing tool for agriculture". Remote Sens. 2012, 4, 2356–2372.
- [25] MASTERS, D.; AXELRAD, P.; KATZBERG, S. "Initial results of land-reflected GPS bistatic radar measurements in SMEX02". Remote Sens. Environ. 2004, 92, 507–520.
- [26] KIM, H.; LAKSHMI, V. "Use of Cyclone Global Navigation Satellite System (CyGNSS) Observations for Estimation of Soil Moisture". Geophys. Res. Lett. 2018, 45, 8272–8282.