

Fiche “ Valorisation des résultats des campagnes aéroportées ” Campagne d'évaluation 2018

Nom de la campagne : Mesure et étude des états de mer (vent/vagues) par radar aéroporté KuROS

Projet / Programme de rattachement : Mission Spatiale CFOSAT

Domaine scientifique : Océan, interface océan/atmosphère

Avion : ATR42

Dates de la campagne : Mars-avril 2013, novembre 2014, octobre 2015, septembre-octobre 2017, novembre 2018

Nombre de jours scientifiques : 15 en 2013 (+ 3 vols d'étalonnages), 1 en 2014, 5 en 2015 (+ 3 vol étalonnage), 7 e 2017 (+ vols étalonnage), 6 vols (+ vols étalonnage)

Nombre d'heures de vols :

Aéroport(s) : Franczal en 2013, Brest en 2015 , 2017, et 2018

PI (Principal Investigator), Nom, prénom et organisme : HAUSER Danièle, CNRS

Nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs : 2 directement sur les campagnes mais données mis à disposition plus largement

Nombre d'ingénieurs et de techniciens : ~ 3

Nombre d'étudiants : 1 master + 1 thèse en cours

Fiche remplie par : Danièle HAUSER

Date de rédaction ou d'actualisation de la fiche : mars 2019

Adresse : LATMOS, 11 boulevard d'Alembert, 78 280 GUYANCOURT

Email : daniele.hauser@latmos.ipsl.fr

Tel : 01 80 28 50 23

Résumé (20 lignes maximum) :

L'observation et la modélisation numérique des états de mer restent des enjeux majeurs que ce soit pour la prévision marine (sécurité des biens et des personnes) que pour la progression des connaissances sur le système couplé océan/atmosphère.

Depuis de nombreuses années l'équipe de recherche du CNRS/LATMOS développe des travaux dans ces domaines. Ainsi le radar KuROS a été mis au point par le LATMOS en 2012 pour être embarqué à bord de l'ATR42. Les objectifs sont multiples: i) préparation de la mission spatiale CFOSAT dédiée à l'observation globale du vent et des vagues par radar ii) étude des champs de vent et vagues, des couplages vent/vagues et vagues/courant et validation des modèles de prévision numérique des vagues, iii) travaux amonts sur la mesure du courant de surface par radar (appui au concept VASCO retenu par le CNES pour une étude amont puis par l'ESA pour la mission spatiale à l'étude SKIM). Depuis 2013, KuROS a été mis en oeuvre à bord de l'ATR 42 à plusieurs reprises: lors de la campagne HYMEX en hiver 2013 au-dessus du Golfe du Lion (Méditerranée) dans des situations de forts états de mer (Mistral et Tramontane), et lors des campagnes PROTEVS (SHOM, 2013) et BBWAVES (IFREMER, 2015, 2017) en Mer d'Iroise dans des situations de fortes interactions vagues/courant. Les données du radar et les méthodes de traitement associées ont été validés en 2014 (Caudal et al, 2014). Des travaux combinant des observations de spectres des vagues par KuROS et des sorties du modèle de prévision des vagues MFWAM ont permis à la fois de mieux préciser les performances et limites du concept de mesure, et d'étudier l'évolution régionale des champs de vagues dans des situations de fort vent (Hymex 2013 ou d'interactions forts avec le courant de surface (3 campagnes au-dessus de la mer d'Iroise). Au-delà des travaux en cours, il est prévu de mettre en oeuvre de KuROS dans le golfe de Gascogne en 2020, pour contribuer à la validation du satellite CFOSAT , désormais opérationnel.

Résultats majeurs obtenus (maximum 5 pages)

1 – Contexte scientifique et programmatique de la campagne

La mission spatiale Franco-chinoise CFOSAT, lancée le 29 octobre 2018, est dédiée à la mesure du vent et des vagues à la surface de l'océan. Elle porte deux instruments radar, un diffusiomètre-vent (SCAT) conçu et développé par la Chine, et un diffusiomètre-vagues (SWIM) conçu et développé par la France sur financements CNES. Les objectifs scientifiques principaux de la mesure globale du vent et des vagues par CFOSAT sont les suivants :

- Améliorer les connaissances sur les processus de surface et échanges d'énergie et de matière à l'interface océan/atmosphère (évolution des vagues, interactions vagues-courant, vagues-glace, couplage avec la couche mélangée océanique et la couche limite marine, ..)
- Améliorer la prévision des conditions de surface marine (vent/vagues) en particulier dans les conditions d'événements extrêmes (amélioration des modèles de prévision, et assimilation de données)
- Améliorer la modélisation et la prévision de la circulation océanique par un meilleur forçage de surface et des données de validation
- Contribuer à l'étude de la variabilité climatique des paramètres océaniques de surface

Des objectifs secondaires ont été définis concernant les surfaces continentales, et la cryosphère.

Dans le cadre de la mission CFOSAT, le LATMOS a développé et opère depuis l'ATR42 le radar aéroporté radar KuROS (Ku Band Radar for Observing Surfaces), avec un concept reproduisant au plus près celui des instruments SWIM et SCAT de CFOSAT.

En effet, comme SWIM, KuROS opère en bande Ku (~13.4 GHz) à des incidences proches de la verticale (fauchée utile entre 6° et 20° d'incidence) et avec un balayage en azimut sur 360°. KuROS possède également une 2^{ème} antenne qui permet d'effectuer des mesures dans la géométrie de l'instrument SCAT de CFOSAT (visée autour de 40° d'incidence pour KuROS et balayage azimutale). Dans sa configuration d'observation à faible incidence, KuROS a principalement été utilisé jusqu'ici pour mesurer le spectre directionnel des vagues à partir des modulations du signal mesurées dans chaque tache au sol (de qqz centaines de mètres), et pour étudier la réponse radar de la cinématique de surface (mesure Doppler). Il offre également des potentialités d'étude de la statistique des pentes de la surface, non encore totalement exploitées.

2 – Rappel des objectifs

Les objectifs des campagnes KuROS 2013 à 2018 étaient liés d'une part à la préparation de la mission spatiale CFOSAT, d'autre part à l'étude des champs de vagues en conditions variées. En effet en plus des objectifs liés à CFOSAT, KuROS est un instrument bien adapté à l'étude des interactions air/mer à l'échelle régionale car il est conçu pour donner accès à une estimation à fine échelle (de l'ordre du kilomètre) du spectre directionnel des vagues, et du vent de surface. Il s'agit alors de contribuer à la mesure des paramètres qui influent sur les échanges de quantité de mouvement et de chaleur, d'étudier l'impact des vagues sur ces échanges, ou encore de mieux comprendre et paramétrer les interactions entre vagues et courant de surface.

De plus, KuROS est utilisé pour mieux comprendre le contenu des signaux de télédétection radar (en particulier mesures Doppler) dans l'objectif de mieux comprendre la physique des interactions ondes électromagnétiques/surface pour préparer des missions océanographiques futures dédiées à la mesure du courant de surface.

Les paramètres géophysiques que l'on peut extraire des données KuROS sont les suivants :

- spectre directionnel des vagues: répartition de l'énergie (ou de la hauteur) des vagues en fonction de leur longueur d'onde et de leur direction de propagation pour la gamme de longueur d'onde [30-400]m environ
- propriétés statistiques des vagues courtes (de 0.06 à 10m) environ : forme de la distribution des pentes, anisotropie, variance des pentes, paramètres caractérisant l'écart à la gaussianité
- vent de surface à partir de modèle empirique reliant section efficace radar mesurée et vent
- vitesse des diffuseurs de surface

Le schéma de la Figure 1 rappelle la géométrie d'observation qui permet d'accéder à ces variables

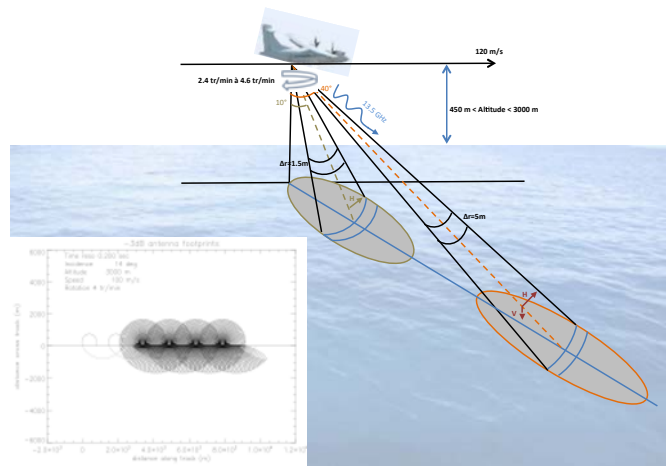


Figure 1 : Géométrie d'observation du radar KuROS :le système utilise 2 antennes l'une visant autour de 10° par rapport à la verticale, l'autre autour de 40°. Les deux antennes balayent en azimut autour de l'axe vertical. Chacune illumine la surface marine avec une empreinte au sol de plusieurs centaines de mètres pour les altitudes d'utilisation recommandées pour KuROS (2000 à 3000m). La résolution du radar (1.5m pour antenne 10°, 5 m pour antenne 40°) permet d'accéder au coefficient de rétrodiffusion radar (section efficace normalisée) avec une résolution dans l'axe de visée d'une dizaine de mètres.

3 – Données acquises et analyses effectuées

Le radar a été qualifié pour la mesure des vagues en 2012 et la première campagne scientifique s'est déroulée en mars-avril 2013 en profitant des contextes de l'expérience HYMEX (Méditerranée), et de l'expérience PROTEVS du SHOM (mer d'Iroise, Bretagne). Suite à des améliorations du système radar, une campagne de test a été réalisée en 2014. En 2015 et 2017 une campagne scientifique d'une semaine a été menée en mer d'Iroise de manière coordonnée avec les campagnes océanographiques BBWAVES de IFREMER et PROTEUVS du SHOM. En 2018, le LATMOS a participé à la demande du CNES, à une nouvelle campagne en mer d'Iroise, avec KuROS embarqué sur ATR42, avec un objectif un peu différent : démontrer la faisabilité du concept de l'instrument SKIM proposé à l'ESA dans le cadre des missions Earth Explorer 9 pour mesure la cinématique de surface (courant, vagues,..).

Campagne 2013

Le radar KuROS a été mis en opération lors de 14 vols en Méditerranée et 2 vols en Mer d'Iroise. A noter que lors de la plupart des vols en Méditerranée, les plans de vols étaient conçus de manière à partager le temps entre des mesures pour Kuros à haute altitude (2000 ou 3000m) et des mesures de turbulence en basse couche (besoins des équipes de Hymex), si bien que sur 4 à 5 heures de vol, les données KuROS représentent au plus 2 heures de mesures. Lors d'un des vols en Méditerranée, le radar n'a pu acquérir des données en raison d'une panne, et lors d'un autre vol seulement 20 minutes de données ont été enregistrées (défaut logiciel). Pour tous les autres vols, le fonctionnement du radar a été optimal. Trois vols à Franczal au-dessus de cibles réflectrices ont également effectués pour des besoins de contrôle et étalonnage du radar.

Les données acquises sont de bonne qualité avec les réserves ci-dessous

- le diagramme de rayonnement de l'antenne 40° s'est révélé fortement perturbé par le système d'implémentation du hublot
- la stabilité en puissance des signaux radar s'est révélée non satisfaisante en raison i) d'un défaut du logiciel commandant la génération des impulsions radar ii) d'une détérioration du joint tournant.

Ceci ne compromet pas la qualité des données en terme de spectres de vagues (issues des observations via l'antenne 10° et pas de nécessité de connaître le niveau absolu du signal). En revanche les analyses en terme de vent de surface s'avèrent difficiles pour cette campagne.

Ces problèmes ont été résolus aux campagnes suivantes.

Campagne 2014

Il s'agissait en 2014 de tester les modifications effectuées pour résoudre les problèmes identifiés en 2013 (cf ci-dessus). Les tests ont été concluants. Un seul vol scientifique a pu être réalisé en Méditerranée, mais dans des conditions de mer plate (sans vent ni vagues).

Campagne 2015

Cinq vols ont été réalisés en 2015 au départ de Brest, chacun d'une durée sur mer de 3 à 4 heures (mer d'Iroise, ouest et Sud de la pointe du Raz). Les conditions rencontrées sont caractéristiques d'un état de mer modéré à fort (2 à 4 m de hauteurs significative) avec des houles dominantes (houle d'ouest) et peu de mer du vent (vent modéré de 5 à 10 m/s). Les plans de vol étaient conçus pour traverser des zones de forts courants de marée aux abords de Ouessant) ainsi que des zones moins affectées par ce courant de marée.

Aucun problème technique n'est à signaler.

Campagne 2017

Six vols ont été réalisés en 2017 au départ de Brest comme en 2015 avec des conditions de mer modérées à forte. Deux objectifs étaient affichés: mesures des vagues dans une zone et une période de fort courant de marée (front du Fromveur en particulier) et évolution régionale des basses couches de l'atmosphère et des vagues dans une zone affectée par le front thermique de Ouessant. Les deux types de situation ont pu être échantillonnées au cours des vols, tout en mettant en place une coordination avec des mesures bateau (navire Thalia) et des bouées dérivantes.

Campagne 2018

Six vols ont été réalisés sur une période de 10 jours, au départ de Brest. L'objectif était focalisé sur la mesure de la cinématique de surface (due aux vagues, au vent, et au courant). Deux zones de mesures avaient été identifiées, l'une à l'ouest de l'île de Ouessant dans une zone de fort courant de marée (et fortes variabilités spatiales et temporelles de ce courant) et une plus au large et au Sud de Ouessant dans une zone moins affectée par les courants de marée et plus homogène. Ces deux zones ont été échantillonnées au moment des vols KuROS par un navire de recherche (Thalia), et par des drifteurs mis à l'eau à chaque occasion (mesure du courant et des vagues). Cette campagne a nécessité une coordination précise entre moyens avions et moyens in situ. La coordination était assurée par le CNES et s'est très bien déroulée.

Afin de minimiser l'effet de la vitesse du porteur sur la mesure Doppler, les modes opératoires de KuROS ont été modifiés par rapport aux précédentes campagnes, avec une utilisation de KuROS en visée latérale fixe sur une grande partie des vol. Quelques parties de vol à antenne tournante ont été définies pour fournir en plus, le spectre directionnel des vagues dans les zones échantillonnées.

Aucun problème technique KuROS n'est à signaler

4 – Principaux résultats obtenus

Un article a été publié (JAOT, 2014) sur le concept du nouveau radar, les méthodes d'analyse et les premiers résultats. Des résultats ont été présentés à diverses conférences (voir liste pus bas) et un article a été soumis début 2019 sur les résultats reposant sur les données de 2013 et 2015. Un article est en préparation sur les données de 2018 (cinématique de surface).

Un accent particulier a été mis les premières années, sur les méthodes d'inversion des observations en lien avec les spécifications de la chaîne de traitement des données de la mission spatiale CFOSAT. On s'est en particulier intéressés à l'une des méthodes d'élimination du bruit de speckle (bruit qui affecte de façon significative l'estimation des spectres des vagues), en l'occurrence la méthode dite « cross-spectre » qui utilise les spectres de signaux issus de deux mesures décalées dans le temps. On a pu valider cette

méthode et estimer ses limites d'application dans une configuration de type KuROS ou SWIM/CFOSAT (antenne tournante) alors qu'elle n'avait été utilisée jusqu'ici que dans une configuration de radar imageur SAR (antenne fixe sur le côté).

Une première étude sur le niveau du speckle a également été menée, ce qui a mis en évidence que dans la configuration de KuROS, ce bruit est non seulement lié aux caractéristiques du radar (nombre d'intégrations, Bande Doppler,..) mais également aux propriétés de la surface elle-même (temps de corrélation des diffuseurs)- Voir Hauser et al., 2015.

Dans le cadre de la thèse de Eva Le Merle, une étude approfondie de l'évolution spatiale des propriétés spectrales des vagues a été menée à partir des observations Hymex 2013 (Mistral/tramontane et les conditions de forts vent d'est) et des observations en mer d'Iroise (campagne de 2015). Ce travail repose sur des comparaisons détaillées avec les modèles numériques de prévision des vagues (MFWAM dans le cas de Hymex, WW3 dans le cas de Iroise). Les principaux résultats ont été soumis dans une publication et sont résumés ci-après.

Ils indiquent que les conditions avec des vagues de longueur d'onde dominante inférieure à 200 m sont les situations les plus favorables pour l'estimation des paramètres à partir de KuROS. Pour les longueurs d'onde dominantes plus longues, le principal facteur limitant est la taille insuffisante de la tache au sol KuROS perpendiculairement à la direction de visée, dans les conditions de vol de nos mesures (vol à altitude 2000 ou 3000m). Dans ces situations, l'impact principal est une dispersion accrue sur l'estimation de la hauteur significative des vagues, et sur l'estimation de l'étalement angulaire du spectre de vagues.

En restreignant aux situations les fiables pour l'estimation des paramètres de vagues avec KuROS (longueur d'onde dominante inférieure à 200 m), les résultats indiquent une surestimation par les modèles numériques (MFWAM comme WW3) de l'étalement en fréquence de spectres par rapport aux données KuROS comme par rapport à des données bouée (survolées par KuROS). L'étalement directionnel est lui sous-estimé par les modèles MFWAM et WW3 en comparaison à KuROS et aux données de bouée. Ces conclusions montrent qu'il reste nécessaire d'améliorer la représentation physique de l'évolution des vagues dans les modèles numériques, en particulier la représentation des interactions non linéaires entre vagues qui affecte grandement la réponse du modèle sur la répartition fréquentielle et angulaire de l'énergie.

L'étude des performances et limites liées au principe de mesure continuent de faire l'objet de travaux en cours, menés en particulier à partir d'un simulateur de données KuROS (partant de la simulation de la surface et allant jusqu'au signal radar), couplé au modèle d'inversion des observations.

Les données de la campagne 2018 sont en cours d'analyse au LOPS (Ifremer), avec un appui du LATMOS. Les premiers résultats montrent qu'on a pu estimer correctement la composante Doppler lié à l'effet combiné des vitesses orbitales des vagues et à leur pente, ainsi que celle du courant moyen dans la zone la plus homogène de la campagne. Un article est en préparation.

Tableau récapitulatif

		Nombre
1	Publications d'articles originaux dans des revues avec comité de lecture référencées dans JCR (<i>Journal Citation Reports</i>) (ajouter des lignes si nécessaire)	
	Année n+1 : 2014 Caudal G., D. Hauser, R. Valentin, C. Le Gac, KUROS : A new airborne Ku-band Doppler radar for observation of surfaces, Jour. Atmos. and Oceanic Technology, Vol. 31, No. 10. , 2223-2245, 2014	1
	Année n+2 :	
	Année n+3 :	
	Année n+4 :	
	Année n+5 : Le Merle E., D. Hauser, C. Tison : Directional wave spectra at the regional scale with the KuROS airborne radar: comparisons with models. Soumis à Ocean Dynamics	

	Année n+6 :	
	Année n+7 :	
	Total	
2	<p>Publications dans d'autres revues ou ouvrages scientifiques faisant référence dans le domaine</p> <p>Hauser D., Caudal G., Le Gac C., Valentin R., Delaye L., Tison C., KuROS : A new airborne Ku-band Doppler radar for observation of the ocean surface, Proceedings of the IGARSS2014 conference, 14-18 July, Quebec-City (Canada)</p> <p>Hauser D., G. Caudal, C. Le Gac, R. Valentin, L. Lapauw, L. Delaye, N. Pauwels, C. Tison, KuROS : A new airborne Ku-band Doppler radar for observation of the ocean surface, proceedings of the International radar conference, 13-17 Octobre 2014, Lille (France)</p> <p>Hauser D., G. Caudal, C. Tison, R. Valentin, C. Le Gac, et al.. A study of speckle properties over the ocean surface from the airborne radar Kuros. ENVIREM 2015 : L'Environnement Electromagnétique des radars à l'horizon 2020 : quels enjeux en termes de modélisation et moyens de mesures ?, Jun 2015, Gif-sur-Yvette, France. 2015</p> <p>Le Merle E. D., Hauser D, C. Tison, L. Aouf., Spectral properties of surface ocean waves from real-aperture radar observations, proceedings of IGARSS 2018 , Velecia, Spain (IEEE publications)</p> <p>Rapport scientifique annuel (2015) de Météo-France: 1 page est consacrée aux campagnes KuROS</p>	3
3	Publications sous forme de rapports techniques	
4	Articles dans des revues ou journaux « grand public »	
5	<p>Communications dans des colloques internationaux</p> <p>Hauser D., Caudal G., Le Gac C., Valentin R., Delaye L., Tison C., KuROS : A new airborne Ku-band Doppler radar for observation of the ocean surface, IGARSS2014 conference, 14-18 July, Quebec-City (Canada), oral communication</p> <p>Hauser D., G. Caudal, C. Le Gac, R. Valentin, L. Lapauw, L. Delaye, N. Pauwels, C. Tison, KuROS : A new airborne Ku-band Doppler radar for observation of the ocean surface, , 13-17 Octobre 2014, Lille (France)</p> <p>Hauser D., G. Caudal, C. Tison, R. Valentin, C. Le Gac, et al.. A study of speckle properties over the ocean surface from the airborne radar Kuros. ENVIREM 2015 : L'Environnement Electromagnétique des radars à l'horizon 2020 : quels enjeux en termes de modélisation et moyens de mesures ?, Juin 2015, Gif-sur-Yvette, France. 2015, oral communication</p> <p>CHEN Ping , YIN Qiaohua, WANG Liye : Impact of non Gaussian surfaces on the near-nadir radar cross-section and on the future analysis of CFOSAT data, conférence internationale IGARSS 2016 (juillet 2016, Pékin), oral communication</p> <p>Le Merle E., D. Hauser , C. Tison : Wave fields at regional scale from the airborne radar KuROS, CFOSAT, Beijing, octobre 2017n, oral communication</p> <p>Le Merle Eva, Hauser D., Tison C., Aouf L., Spectral properties of surface ocean waves at regional scale from airborne real aperture radar observations. Comparisons with the MF-WAM model, <i>conference</i>, Tel Aviv (Israël), April 2018, oral communication</p> <p>Le Merle E. D., Hauser D, C. Tison, L. Aouf., Spectral properties of surface ocean waves from real-aperture radar observations, proceedings of IGARSS 2018 , Valencia, Spain , poster</p>	5
6	Documents vidéo-films	
7	<p>DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne</p> <p>Laura Gómez Navarro : X-band remote sensing of the sea surface , stage de Master 1 à LPO IFREMER, 2015</p>	
8	<p>Thèses ayant utilisé les données de la campagne</p> <p>EN cours : Eva Le Merle</p>	
9	Transmission à une banque de données : oui , données disponibles sur	Oui

Références

R1 - Références des publications d'articles originaux dans des revues avec comité de lecture référencées dans JCR (vérifier dans la base « *Journal Citation Reports* » via « *ISI Web of Knowledge* » si les revues sont bien référencées) **et résumés des principales publications**. (Les classer par années croissantes).

R2 – Références des publications parues dans d'autres revues ou des ouvrages scientifiques faisant référence dans la discipline. (Les classer par année).

R3 – Références des rapports techniques. (Les classer par année).

R4 – Références des articles parus dans des revues ou des journaux « grand public ». (Les classer par année).

R5 – Références des communications dans des colloques internationaux. (Les classer par années croissantes).

R6 – Liste des documents vidéo-films. (Les classer par année).

R7 – DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne (Nom et Prénom de l'étudiant, Laboratoire d'accueil. Sujet du DEA ou MASTER, Date de soutenance)

R8 – Thèses ayant utilisé les données de la campagne (Nom et Prénom de l'étudiant, Laboratoire d'accueil. Sujet de la thèse, Date de soutenance)

R9 – Liste des données transmis (Préciser les destinataires, SEDOO, autres banques de données, équipes scientifiques ...)

R10 – Liste des résultats restant à publier – échéance