

**Fiche “ Valorisation des résultats des campagnes aéroportées ”
Campagne d'évaluation 2021**

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, février-mars 2021 (reportée de 2020 à 2021 pour cause de crise Covid-2019)
Nombre de jours scientifiques : 15 vols en 2013 (+ 3 vols d'étalonnages), 1 en 2014, 5 en 2015 (+ 3 vol étalonnage), 7 e 2017 (+ vols étalonnage), 6 vols en 2018 (+ vols étalonnage), 17 vols en 2021 (+ 1 vol étalonnage)
Nombre d'heures de vols : 21 en 2015, 24,5 en 2018, 62 en 2021
Aéroport(s) : Franczal en 2013, Brest en 2015, 2017, et 2018, Quimper en 2021

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 : ~ 4

Nombre d'étudiants :

Fiche remplie par : Danièle HAUSER

Date de rédaction ou d'actualisation de la fiche : novembre 2021

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 et lors de la campagne SUMOS (SUrface Measurement for Oceanographic Satellites) en 2021 pour la poursuite de la validation des données et des algorithmes de traitement de la mission spatiale CFOSAT, environ 2,5 ans après le lancement du satellite. 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). L'analyse fine des données de la campagne SUMOS de 2021 est en cours mais on peut d'ores et déjà mentionner que les données recueillies sont de bonne qualité.

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
- propriété 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 .

En 2021, la campagne SUMOS a été déployée pour approfondir les performances et limites des mesures de la mission CFOSAT pour la mesure des vagues et pour continuer à évaluer les potentialités de mesures de courant de surface par radar Doppler. La campagne a mobilisé pendant environ 3 semaines (15 février- 5 mars 2021), l'ATR42 avec 2 instruments radar à bord (KuROS mis au point au LATMOS et Karadoc mis au point à l'IETR), ainsi que le navire recherche océanographique L'Atalante, équipé d'un radar marin et d'appareils de photographie stéréographique et polarimétrique permettant de documenter différentes échelles de vagues, ainsi que le courant de surface. L'Atalante, a également été mobilisé pour la mise à l'eau et la récupération de 20 bouées dérivantes commercialisées par Sofar (bouées *Spotter*) et dédiées à la mesure des vagues (spectres directionnels), et de 3 bouées vent/vagues/flux (bouées *Flame* développées au LOPS).

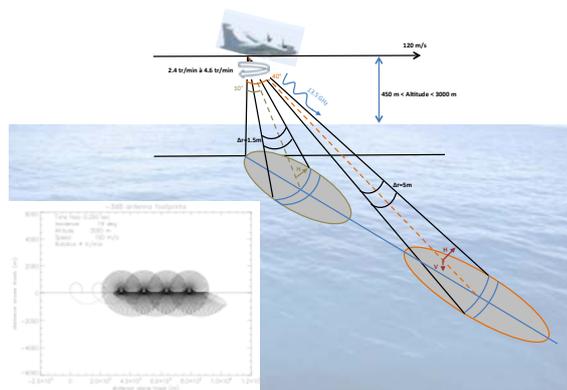


Figure 1 : Géométrie d'observation du radar KuROS : le système utilise 2 antennes l'une visant autour de 10° par rapport à la verticale, l'autre autour de 40°. Les deux antennes balayent en azimut autour de l'axe vertical. Chacune illumine la surface marine avec une empreinte au sol de plusieurs centaines 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 à 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 et de l'ESA, 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,...). Enfin, en 2021, a eu lieu la campagne SUMOS (avec 1,5 année de retard à cause de la crise sanitaire), dédiée plus particulièrement à l'étude de la qualité des produits vagues de CFOSAT.

Campagne HYMEX 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 Francazal au-dessus de cibles réfléchissantes ont également été 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 BBWAVES 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 DRIFT4SKIM 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 flotteurs 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.

Campagne SUMOS en 2021

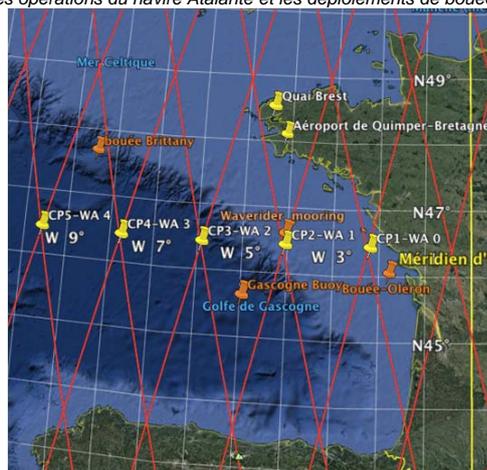
La campagne était principalement dédiée à la validation de CFOSAT, avec des vols coordonnés ATR42 avec les passages CFOSAT et des mesures in situ. Les vols associés à cet objectif sont appelés vols « CFOSAT » dans la suite de ce document. En complément, un objectif secondaire impliquant à la fois Kuros et l'instrument Karadoc avait été défini, pour continuer à approfondir la connaissance de la signature Doppler de la surface océanique à faible incidence (comme pour la campagne Drift4SKIM de 2018). Ces vols sont appelés vols « SKIM » dans la suite, en référence à la proposition spatiale SKIM (Ardhuin et al, 2019, Marié et al, 2020).

Dans la suite de ce document, seules les activités et résultats impliquant KuROS sont décrits.

En préalable à la campagne SUMOS, après intégration du radar KuROS dans l'avion, une campagne d'étalonnage en vol du radar KuROS a été réalisée depuis Toulouse-Francazal. Il s'agit du vol du 11 février 2021, avec 9 passages de l'ATR42 au-dessus de cibles réflectrices positionnés sur une partie herbeuse de l'aéroport de Auch. Les données ont été recueillies et analysées avec succès et ont permis de confirmer le bilan de puissance et le diagramme d'antenne du radar Kuros.

En ce qui concerne la campagne SUMOS proprement dite, menée depuis Quimper, on rappelle que les plans de vols de type « CFOSAT » avaient été définis pour échantillonner le long et perpendiculairement à chaque trace CFOSAT et en survolant le point de croisement de deux traces satellite successives (croisement des traces CFOSAT sur 2 jours successifs) et en minimisant le décalage temporel par rapport CFOSAT. La position des traces CFOSAT sur la période de la campagne, et celle des points de croisement CP1 à CP5 sont illustrées en Fig.1. On rappelle que ces points de croisements (sauf CP5) ont été utilisés comme point de référence pour le déploiement depuis le navire, des bouées Spotter et Flame et pour les mesures en station du navire l'Atalante. Treize vols de type « CFOSAT » ont été réalisés en coordination avec les passages CFOSAT et les mesures in situ.

Figure 1 : zone de mesure de la campagne SUMOS en 2021. Les traces rouges marquent les passages du satellite CFOSAT (trace nadir) sur 13 jours successifs. Les points CP1 à CP5 ont servi de référence pour les plans de vol ATR42 et pour les opérations du navire Atalante et les déploiements de bouées.



Les plans de vols de type « SKIM » consistaient en un échantillonnage par l'avion d'une étoile à 8 branches dont les branches avaient une longueur 12 NM centrée sur un point de référence (proches de CP2, CP3, ou CP4 selon les cas), et des branches espacées en direction (cap de l'avion) tous les 22,5° environ. Quatre vols SKIM ont été effectués en coordination avec les mesures de l'Atalante et les mesures bouées.

Lors de la campagne, tous les plans de vols établis avant la campagne (de type « CFOSAT » comme « SKIM ») ont été suivis sans modification, en utilisant les options « raccourcies » dans certains cas pour permettre d'enchaîner des vols plusieurs jours de suite sans décalage temporel important par rapport à CFOSAT. Parmi tous les vols programmés, un seul a dû être annulé (22 Février-soir) pour respecter les contraintes réglementaires d'heures de repos entre deux vols. Il se trouve que les autorités préfectorales ont également interdit tout survol de la zone ce soir-là.

La coordination avec les mesures satellite et avec les mesures in situ a été bien respectée.

Le fonctionnement du radar pendant la campagne a été optimal. Aucune panne n'est à déplorer. La qualité des données acquises est conforme à l'attendu.

L'acquisition des données a été réalisée en mode 3 (chronogramme adapté à une altitude de vol d'environ 3000 m) sauf pour une petite partie du vol 14 (quelques minutes en mode 2 pour altitude 2000 m), et sur l'antenne de faible incidence uniquement (pointant à 14° par rapport à la verticale). Sur la plus grande partie des acquisitions, l'antenne du radar KuROS était mise en rotation à une vitesse de 2,4 t/min.

La liste des vols et des acquisitions KuROS est donnée dans le Tableau 1 en annexe avec quelques commentaires complémentaires.

4 – Principaux résultats obtenus

Campagnes 2013 à 2018

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 plus 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. Ultérieurement, les données de la campagne de 2013 ont été à nouveau exploitées pour valider un modèle théorique de speckle prenant en compte les vitesses des diffuseurs de surface. Ce travail fait l'objet d'une collaboration avec une équipe Chinoise et a été publié (Chen et al, 2020).

Plus généralement, l'étude des performances et limites liées au principe de mesure a été menée en confrontant des résultats issus d'un simulateur de données KuROS (partant de la simulation de la surface et allant jusqu'au signal radar et aux données inversées), à ceux des observations des campagnes de 2013 et 2015 (cf Thèse E. Le Merle).

Dans le cadre de sa thèse, Eva Le Merle a également mené 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 publiés dans la thèse de E. Le Merle et dans un article à Ocean Dynamics. 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 plus 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

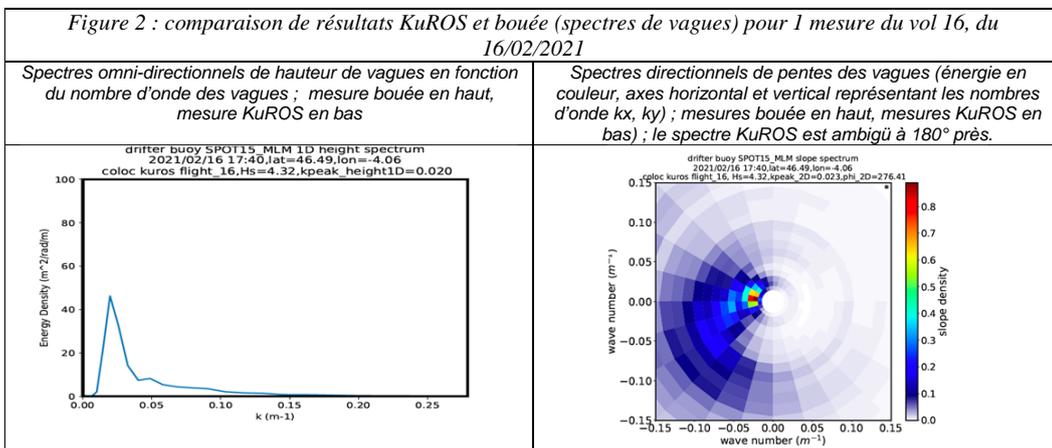
(MFWAM comme WW3) de l'étalement en fréquence de spectres par rapport aux données KuROS comme par rapport à des données bouée (survolées par KuROS). L'étalement directionnel est lui sous-estimé par les modèles MFWAM et WW3 en comparaison à KuROS et aux données de bouée. Ces conclusions montrent qu'il 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. Ce sujet a ensuite été traité à travers une collaboration avec 2 chercheurs de Keele University (UK), dans laquelle les spectres de vagues issues des mesures KuROS pendant Hymex ont été utilisés en comparaison aux résultats de deux types de modélisation des interactions non linéaires entre vagues lors de leurs croissance sous l'effet du vent (présentation par Sergei Annenkov et al à la conférence EGU 2021, « Wave development and transformation under strong offshore winds: modelling by DNS and kinetic equations and comparison with airborne measurements », abstract EGY2021-10437).

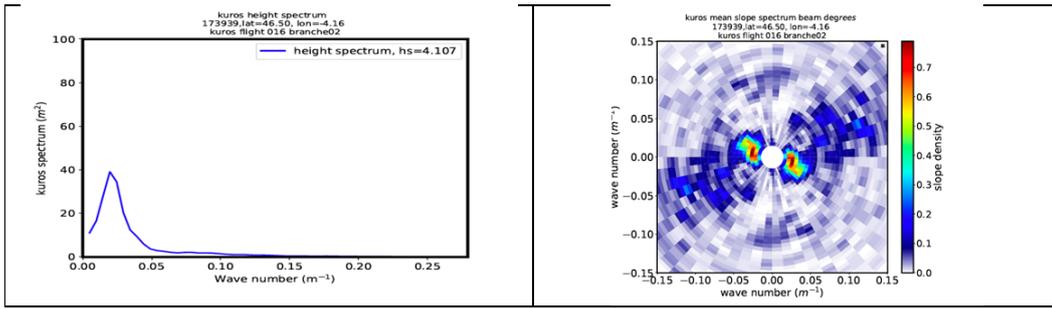
Les données de la campagne DRIFT4SKIM 2018 ont été analysées et utilisées, conjointement à l'analyse des données du radar Karadoc, pour une publication portant sur la capacité à mesure le courant de surface par mesure Doppler en séparant les contribution non géophysiques, celles dues à la cinématique des vagues et celle due au courant de surface (Marié et al, 2020).

Campagne SUMOS de 2021

Les données de la campagne SUMOS sont encore en cours de traitement. La méthode d'inversion en terme de spectre de vagues a été raffinée (table de diagramme d'antenne mise à jour, meilleure prise en compte de la tendance moyenne du coefficient de rétrodiffusion en fonction de l'incidence, meilleure prise en compte de la réponse impulsionnelle du radar). Des comparaisons préliminaires ont été effectuées entre les spectres et les paramètres de vagues issus de KuROS, ceux issus des observations CFOSAT/SWIM et ceux issus des mesures bouées. Dans l'ensemble les trois jeux de données sont cohérents entre eux. Quelques différences sont néanmoins mises en évidence, avec en particulier une pollution par des pics parasites des spectres KuROS, à basse fréquence, visible surtout dans les cas de mers faibles à modérées. Ces pics semblent liés à une élimination insuffisante du speckle dans la direction alignée avec celle de l'avion. Des tests sont encore en cours pour ajouter un filtrage de ces pics parasites. Des résultats préliminaires sont illustrés aux Figures 2 et 3. La figure 1 illustre des comparaisons de spectre 1D (omni-directionnels) et 2D (directionnels) entre KuROS et une des bouées Spotter, le 16/02/2021 aux alentours de 17:40 UTC. On y constate, pour cet exemple, le très bon accord entre les mesures KuROS et bouée.

Le traitement complet et l'ouverture des données à la communauté sont prévus pour fin 2021.





La figure 3 compare sous forme de diagrammes spatio-temporels, les paramètres de vagues (hauteur, longueur d'onde et direction dominante) issus des mesures KuROS le long des branches de vol ATR42 (symboles verts sur la carte de droite et dans les tracés à gauche), ceux issus des mesures SWIM (symboles rouges sur la carte de droite et dans les tracés à gauche) et bouée (lignes continues sur les tracés à gauche).

Figure 3 : A gauche : série temporelle des paramètres mesurés par la bouée Spotter #17 le 16/02/21 ; de haut en bas en train plein : hauteur des vagues (SWH), longueur d'onde dominante (peak wl), direction dominante (peak dir). Les symboles en couleur représentent les résultats pour ces mêmes paramètres, mais estimés à partir des mesures KuROS (en vert clair à foncé) et SWIM (en rouge- orangé-jaune) le long de leur trajectoire respective. A droite : position des mesures KuROS (en vert), SWIM en rouge-orangé-jaune) et de la bouée Spotter 17.

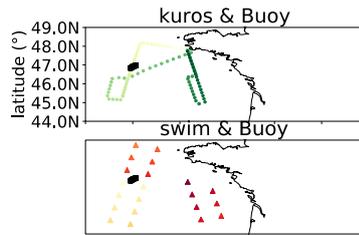
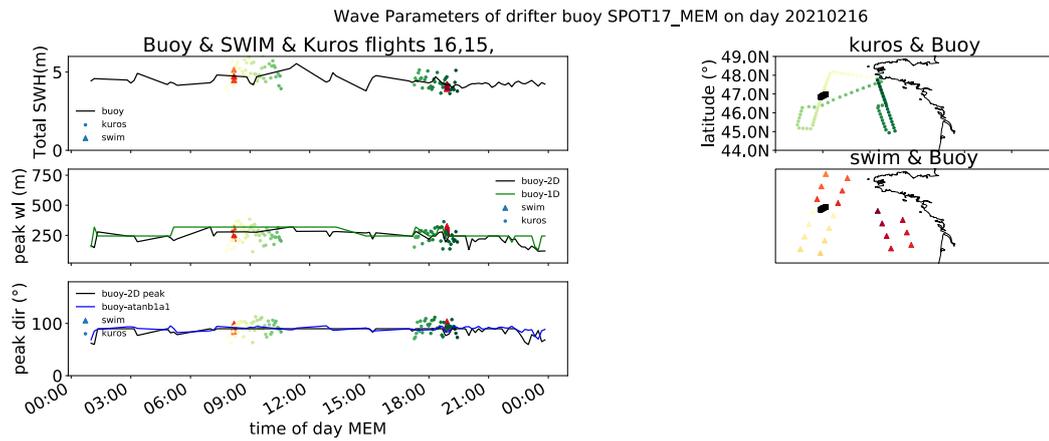


Tableau récapitulatif

		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, Ocean Dynamics, 2019, 69 (6), pp.679-699. Doi 10.1007/s10236-019-01271-5, (02132331) Marié L., F. Collard, F. Nouguier, L. Pineau-Guillou, D. Hauser, F. Boy, S. Méric, C. Peureux, G. Monnier, B. Cha Martin, P. Dubois, C. Donlon, T. Casal, and F. Arduin; Measuring ocean surface velocities with the KuROS KaRADOC airborne near-nadir Doppler radars: a multi-scale analysis in preparation of the SKIM mission, Ocean Dynamics, 16, 1399–1429, 2020, https://doi.org/10.5194/os-16-1399-2020 Chen Ping and D. Hauser, Shihao Zou, Jianyang Si, Eva Le Merle , « Speckle noise spectrum at near-nadir incidence angles for a time-varying sea surface », IEEE Trans. on geoscience and remote sensing, doi 10.1109/TGRS.2020.3037910, 2020	3
	Année n+6 :	
	Année n+7 :	
	Total	4
2	Publications dans d'autres revues ou ouvrages scientifiques faisant référence dans le domaine 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) 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) 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 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 (IEEE publications)	4
3	Publications sous forme de rapports techniques Rapport scientifique annuel (2015) de Météo-France: 1 page est consacrée aux campagnes KuROS	1
4	Articles dans des revues ou journaux « grand public » 1 communiqué de presse INSU-CNES-Ifremer sur la campagne SUMOS	
5	Communications dans des colloques internationaux 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 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) 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 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 Le Merle E., D. Hauser , C. Tison : Wave fields at regional scale from the airborne radar KuROS, colloque Beijing, octobre 2017n, oral communication Le Merle Eva, Hauser D., Tison C., Aouf L., Spectral properties of surface ocean waves at regional scale from real aperture radar observations. Comparisons with the MF-WAM model, WISE conference, Tel Aviv (Israel) 2018, oral communication 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	7
6	Documents vidéo-films	

Mis en forme : Français (France)

Code de champ modifié

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

7	DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne Laura Gómez Navarro : X-band remote sensing of the sea surface , stage de Master 1 à LPO IFREMER, 2015	
8	Thèses ayant utilisé les données de la campagne Eva Le Merle, « Etude des propriétés physiques des vagues océaniques à partir d'observations par radar aéroporté à ouverture réelle », Université Paris-Saclay, 4 décembre 2019	1
9	Transmission à une banque de données : oui , données disponibles pour campagne 2013 sur http://kuros.projet.latmos.ipsl.fr/fr/index.php En cours de constitution pour SUMOS, et les données seront référencées dans ODATIS	Oui

Annexe

Tableau 1 :: liste des vols (jours, heures, plan de vol) et informations complémentaires

N0 de vol	Jour	Plan de vol	Heures acquisition KuROS pendant plan de vol (UTC)	Synchro CFOSAT (UTC)	Commentaires Kuros	Commentaires sur autres données	Situation vent/vagues sur la zone, d'après modèle Arpege + WW3 (site marc.ifremer.fr)
14	15/02/21	SUP4	17 :15- 19 :57	19:09	Une partie à altitude 2000m pour test Karadoc	Survol bouée Brittany 9 bouées Spotter + Flame	Vent de SW fort (localement > 13-15 m/s), Hs~ 4-5 m / Houle d'ouest, Tp~ 12.5 s + mdv de SW
15	16/02/21	SUA4	08:16-10:33	08:11-08:12		Survol bouée Brittany, 9 bouées Spotter +Flame	À peu près comme la veille mais vent de SW un peu plus faible (10-13 m/s), Tp ~13.6 s
16	16/02/21	SUP2	17:11-19:26	18:54		Survol bouée Gascogne 10 bouées Spotter + Flame	Toujours même situation que ci-dessus, Tp~12.4s
17	17/02/21	SUA2	07:31 -09:38	07:57		Survol bouée Gascogne 8 bouées Spatter + Flame	Vent de SW, variable en intensité le long de la trajectoire (~8-10 m/s). Hs 3-4 m, toujours forte houle d'ouest, Tp~12s
18	19/02/21	SKIM autour CP3	croix SKIM 07:58- 10:07	NA	Quelques wing-wags en complément (pour tests)		Vent de Sud, ~10 m/s . Toujours forte houle d'ouest, Tp~11s
19	21/02/21	SUP5	17:04-19:49	19:16		passage proche bouée Brittany, 8 bouées Spotter et Flame mais à plus de 200 km	Vent faible ~ 5 m/s (modèle) . Hs ~ > 5 m - houle d'ouest, Tp~15.2 s
20	22/02/21	SUA5	07:11-10:15	08:18-08:19		passage proche bouée Brittany, 9 bouées Spotter et Flame mais à plus de 200 km	Vent faible à modéré (5-8 m/s), de Sud , variable le long de la trajectoire, Hs 3-4m, Toujours forte houle d'ouest, Tp ~ 13,6s
21	23/02/21	SUA3	07:26-09:45	08:04		passage proche bouée Gascogne, 9 bouées Spotter + Flame + FlameElite	Vent de S-SE 10-13 m/s, variable le long trajectoire, Hs variable de 2 à 5 m le long trajectoire. Houle de NW (Tp~12-13s) mdv de S-SE variable long trajectoire. L'un ou l'autre pourrait dominer selon position
22	23/02/21	SUP1	17:13- 19:14	18:46		5 bouées Spotter Survol bouée Oleron	Conditions côtières, vent de Sud 5-8 m/s, Hs ~ 2 m _ Reste de houle d'W-NW (Tp~16s !) + mdv Tp ~11 s ??
23	24/02/21	SUA1	07:09-09:02	07:50		Survol bouée Oleron 5 bouées Spotter + FlameElite	Vent faible 8-10 m/s de Sud, Sud-Est Hs= 4-5m . Forte houle d'ouest, Tp=16s

24	26/02/21	SKIM- autour CP2	Croix SKIM : 08:32- 10:37	NA			Vent de Nord-Est 8-10 m/s ? Hs 2-3m, Houle d'W-NW Tp~12-13s
25	28/02/21	SUP4	17:09-19:22	19:08-19:09		10 Spotter + Flame + FlameElite	Vent d'E-NE, 8-10 m/s, Hs ~2-3 m et houle d'W dominante, Tp~12-13s
26	01/03/21	SUA4	07:13-09:52	08:11-08:12		10 Spotter + Flame + FlameElite	Vent de NE 10-13 m/s mais variable car juste au Nord d'une petite dépression) Hs ~2-3 m et houle d'W dominante Tp- 13-14s , mdv de NE
27	01/03/21	SUP2	17:09-19:18	18:54		9 Spotter (certaines hors de la fauchée SWIM) + Flame	Vent de SE ~8 m/s- Hs ~ 2.5m mdv variable et houle d'W, Tp~ 12-13s
28	02/03/21	SUA2	07:24-09:30	07:57		9 Spotter (certaines hors de la fauchée SWIM) + Flame + FlameElite	Vent de SE ~ 8-10 m/s , Hs ~1.5 à 2m, houle d'W Tp~ 12 à 14 s, mdv variable selon distance à la côte
29	02/03/21	SKIM proche CP3	croix SKIM : 13 :00-14 :59	NA			Même situation que le matin (mais vent un peu plus faible ?)
30	04/03/21	SKIM proche CP4	Croix SKIM : 07:57 – 10:36	NA			Vent E-SE, 8-10 m/s, Hs ~1 à 1.5 m, houle d'W, Tp~10s

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