RADAR SPATIAUX ET AEROPORTES POUR L'OBSERVATION DES SURFACRES OCEANIQUES ET CONTINENTALES

M. Dechambre
LATMOS/IPSL
10-12 avenue de l'Europe
78140 Vélizy

Depuis une trentaine d'année des radars dédiés à l'Observation de la Terre sont embarqués à bord de satellites et lancés régulièrement dans l'espace. Ils transmettent des données acquises au dessus des continents et océans qui fournissent des informations essentielles pour le suivi des ressources renouvelables et les états de surface. Les instruments embarqués ont des caractéristiques différentes suivant les applications, en terme de fréquence que d'incidence et de polarisation.

Des instruments aéroportés sont parallèlement développés pour la validation et/ou l'étalonnage des instruments spatiaux et fournissent des informations très intéressantes car à une échelle permettant de contrôler assez facilement les sites regardés et avec une agilité de système importante.

Nous proposons de donner quelques exemples de l'association entre mesures radar aéroportées et spatiales ayant conduit à améliorer notre compréhension de la physique de la mesure et des résultats scientifiques obtenues lors de campagnes de mesure conjointes. Les domaines d'applications choisis sont très restreints par rapport aux multiples possibilités qu'offrent les mesures par radar : ce sont l'hydrologie et l'agronomie, l'étude des forêts et des calottes polaires, l'étude de l'état de mer (vent-vagues).

1. L'observation des surfaces continentales par radar

1.1 Présentation de résultats obtenus avec des radars à ouverture de synthèse des missions ERS, RADARSAT, ENVISAT et un radar héliporté pour des applications hydrologiques, agronomique, forestières.

fig. 1-a ASAR de ENVISAT

fig. 1-b ERASME

Le radar héliporté ERASME (fig.1-b) développé par le CETP (maintenant LATMOS) est un petit radar bi-fréquence (C et X) bi-polarisation (HH et VV) et avec agilité angulaire. Il donne la section efficace radar en fonction de l'angle d'incidence (fig.2) et a permis de mettre au point des méthodes d'inversion du signal radar pour restituer l'humidité de surface à des échelles locales et comparables à celle des SAR de ERS et ENVISAT. Nous présenterons les résultats les plus significatifs obtenus avec ces deux radars et montreront l'utilité d'un démonstrateur aéroporté.

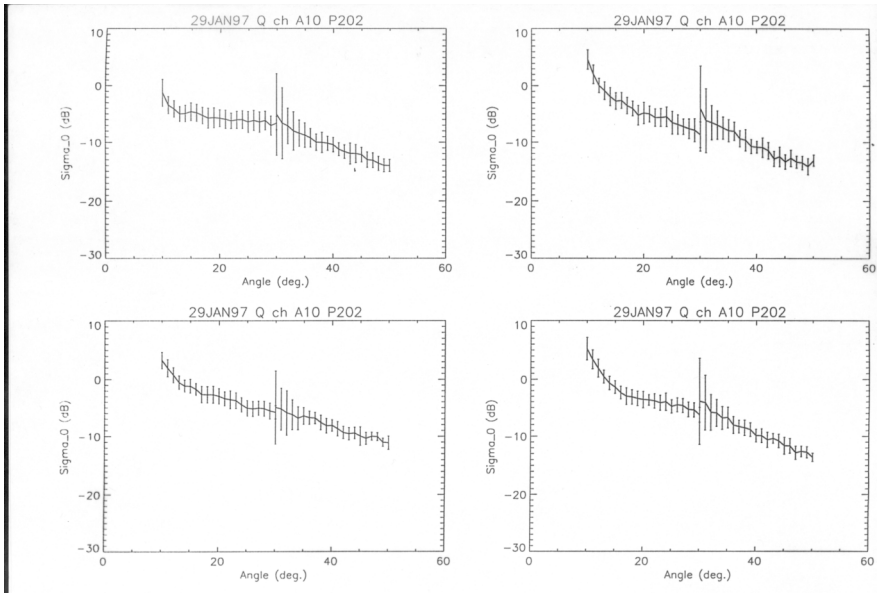

Fig. 2 exemple des mesures de sigma0 obtenues avec ERASME au dessus de terres agricoles

1.2 Quelques résultats de mesures au dessus des forêts et la mission BIOMASS de l'ESA

Un des principaux défis pour les sciences de l'environnement est d'améliorer notre connaissance sur comment le changement global incluant à la fois le changement climatique et les changements liés à l'activité humaine va affecté le système Terre. L'état, la dynamique et l'évolution de la biosphère sont très mal connus et la mission BIOMASS devrait palier à une partie de cette méconnaissance en réduisant les incertitudes sur la distribution spatiale et la dynamique forestière. Il s'agit d'une mission ESA, récemment sélectionnée qui embarquera à bord d'un satellite un radar à ouverture de synthèse, fonctionnant en bande P (435 MHz), et à capacité polarimétrique.
Nous présenteront les grandes lignes de la mission BIOMASS et les principaux résultats scientifiques acquis avec des mesures aéroportées et qui ont conduit à sa définition. Notamment nous justifierons le choix de la bande P pour la restitution de la biomasse, malgré les inconvénients que son utilisation engendrent :

- Dimension des antennes
- Problèmes d'allocation de fréquence et de la bande passante restreinte
- Influence de l'ionosphère sur la propagation et problèmes de cohérence de phase pour la synthèse d'ouverture.

Quelques résultats de mesures aéroportées sont représentés sur la fig. 3, montrant la capacité de la bande P et de la mesure en configuration HV conjointe pour la restitution de la biomasse et le résultats de simulations.

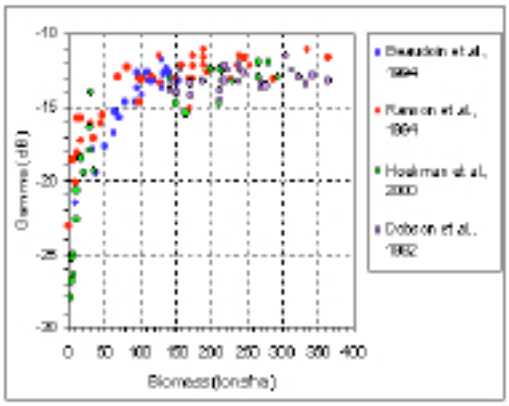

Figure 4. *P-HV response curves as functions of above-ground biomass from different published studies*

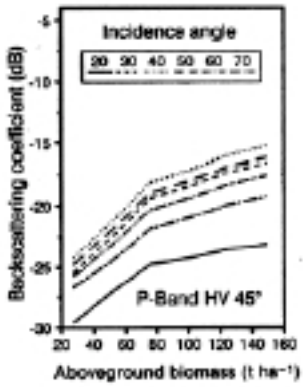

Figure 5: *Theoretical simulations of P-HV at different incidence angles*

Fig. 3 Restitution de la biomasse à l'aide de différentes mesures aéroportées en Bande P et comparaison avec des simulations

1.3 L'Observation des Calottes Polaires

La cartographie de l'Antarctique, sa topographie, son fonctionnement et sa dynamique sont aujourd'hui beaucoup mieux connus grâce à l'exploitation scientifique de mesures altimétrique au dessus de ce continent. De nombreuses études ont été conduites à partir de l'exploitation de la forme d'onde altimétrique (fig.4) et quelques résultats significatifs seront présentés.

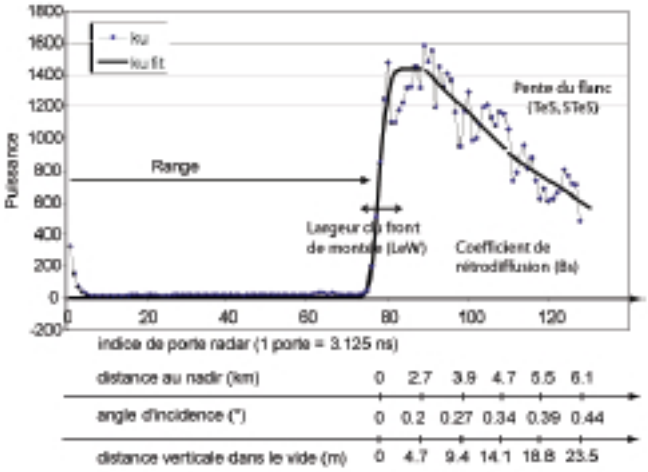

Fig. 4 La forme d'onde altimétrique et les échelles spatiales horizontales et verticales

D'autre part, les calottes polaires de l'Antarctique constituent un enregistrement unique des climats du passé et est un acteur majeur de l'augmentation du niveau cdes mers. Leur étude est un point clé de la modélisation du climat du passé et du futur, cependant la limitation principale des modèles est liée à la méconnaissance des écoulements. Une couverture globale du continent antarctique par un radar en bande P visant à la verticale permettrait une description de la calotte polaire en profondeur. Des mesures aéroportées ont permis de montrer l'intérêt de telles mesures (fig. 5).

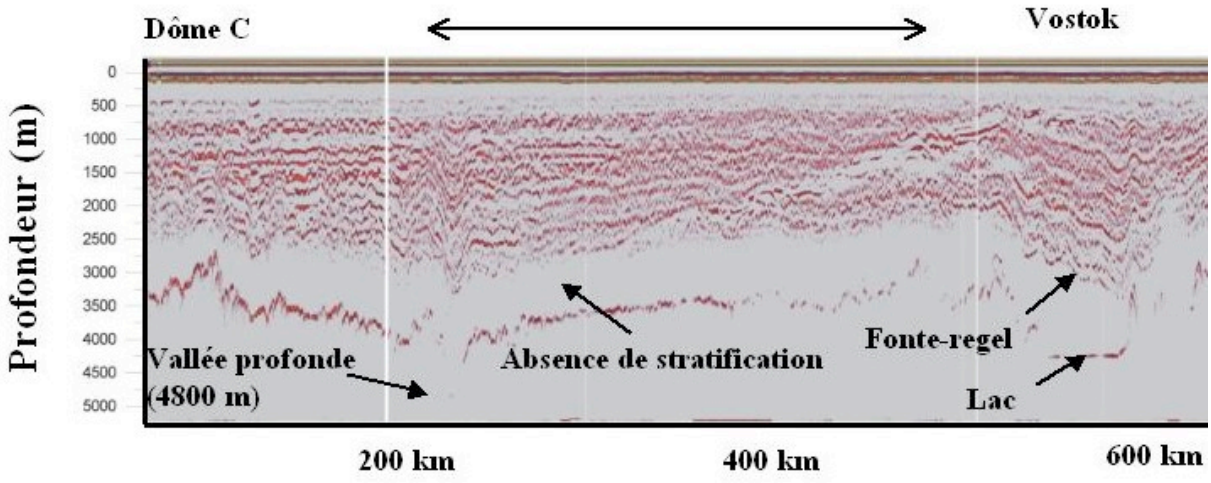

Fig. 5. Etude de la stratification de la glace de la calotte polaire à partir de mesures radar aéroportées basse fréquence. Cette coupe de 600 km de Vostok à Dôme C montre les stratifications internes et le profil de socle rocheux en moyenne sous 3000m de glace.

Nous présenterons aussi ce que pourrait être un mission spatiale dédiée au sondage des glaces.

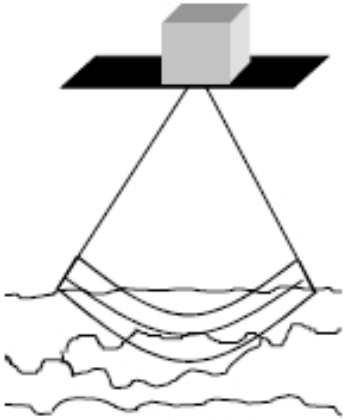

Fig. 6 Géométrie d'une mesure spatiale radar en visée verticale pour le sondage des glaces

2. Présentation d'applications de mesures vent-vague au dessus de l'océan et de la mission CFOSAT (Chinese-French Ocean Satellite)

Les océans couvrent 70% de la surface du globe et jouent un rôle fondamental dans les domaines de la météorologie de l'environnement et du climat. Il y a donc un besoin de contrôler, de comprendre et de prédire tous les processus qui se produisent dans les océans et à leur surface, en particulier le vent et les vagues sont des paramètres clés qui affectent la météorologie marine, la dynamique ces océans, les ressources marines, la pollution, l'économie (navigation, pêche, tourisme, …), l'environnement côtier (transport de sédiments, diffusion de polluants, …).
Le principal objectif de la mission fanco-chinoise CFOSAT est le contôle à une échelle globale du vent et des vagues à la surface des océans dans le but d'améliorer :

- La prévision du vent et des vagues pour la météorologie marine
- Les modèles et la prévision de la dynamique des océans
- Notre connaissance de la variabilité climatqiue
- La connaissance fondamentale sur les processus de surface liés au vent et vagues

CFOSAT est un satellite qui embarquera deux instruments principaux, un radar spectromètre, SWIM, qui permettra de restituer le spectre des vagues, développé par la France et un diffusomètre qui permettra de mesurer le vent. Ces deux instruments fonctionneront en bande Ku (13,4 GHz).

La géométrie d'observation et la trace de la mesure au sol sont représentées sur la figure suivante :

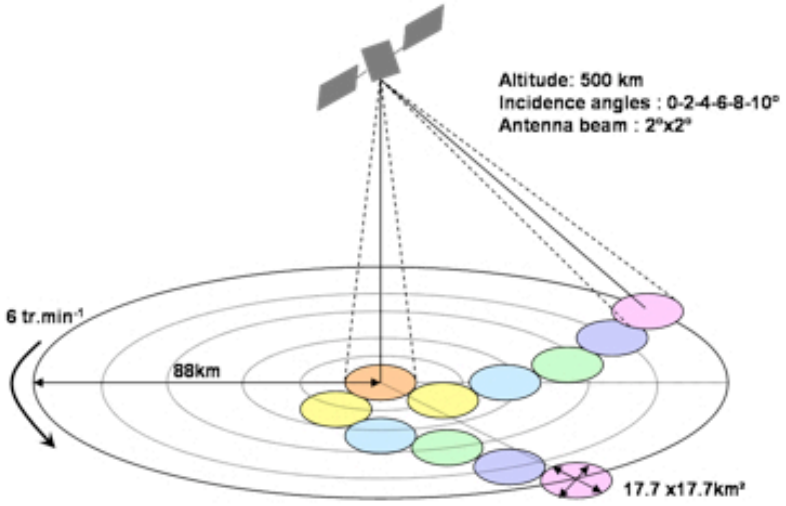

Figure 1: Geometry of observations of SWIM

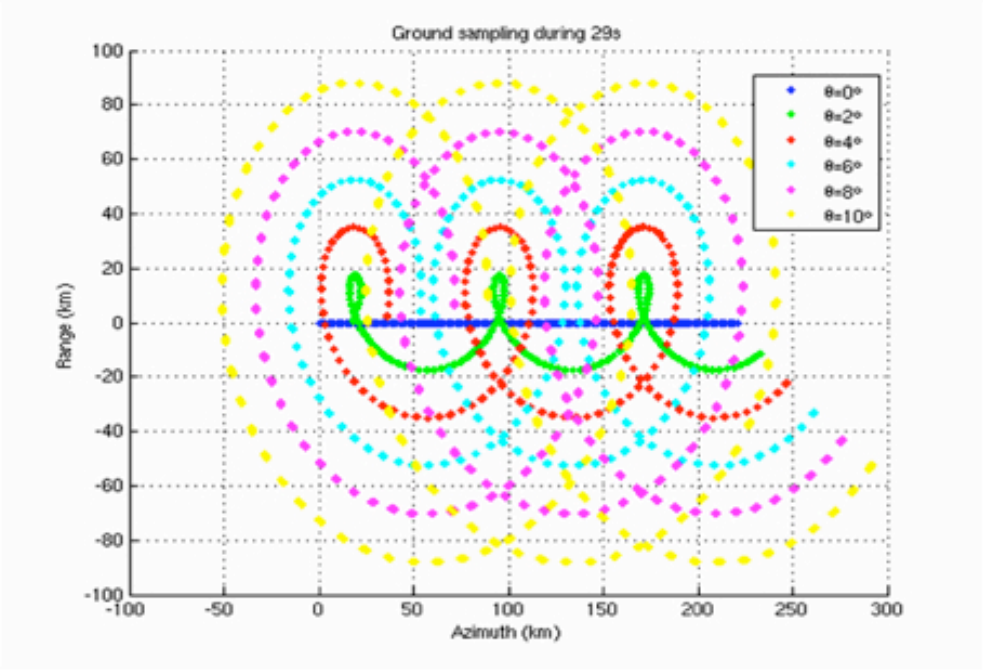

Figure 2: Surface patterns described by the SWIM antenna beams for an orbit altitude of 500 km, an

Fig. 7 géométrie de la mesure de l'instrument SWIM de CFOSAT et la trace au sol du mouvement des faisceaux calculée pour une orbite de 500km

Depuis de nombreuses années, un radar aéroporté développé au CETP (maintenant LATMOS) nommé STORM, a permis de fournir des données essentielles dans les domaines de la mesure du vent et des vagues. C'est un petit radar aéroporté, monté sur l'avion de recherche ATR42, fonctionnant en bande

C, et à capacité polarimétrique complète. Un instrument équivalent, KUROS, est en développement actuellement au LATMOS, et permettra la validation de la mesure des instruments de CFOSAT.
L'installation du radar dans l'ATR42 et la géométrie de la mesure sont présentées sur la figure suivante.

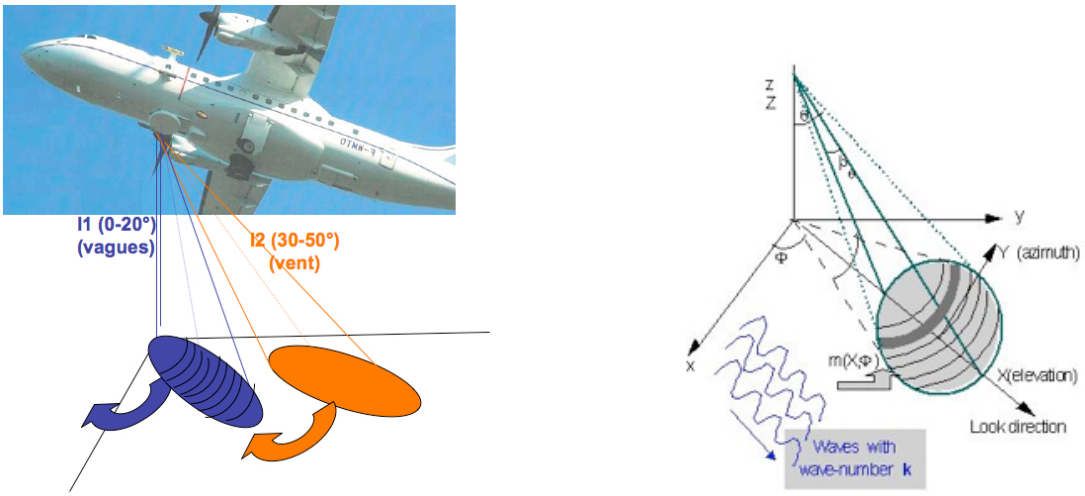

Fig. 8 Emport de l'antenne de STORM (KUROS dans le futur) dans l'ATR 42 et géométrie de la mesure.

Nous présenterons quelques principaux résultats scientifiques acquis avec le radar STORM sur la restitution du spectre des vagues et les comparaison aux modèles. Ces résultats ont aussi largement servi d'aide à la conception de l'isntrument SWIM.