

KALIDEOS, DES IMAGES POUR LA SCIENCE : UN INSTRUMENT AU SERVICE DES APPLICATIONS THÉMATIQUES

Thierry Rabaute¹, Claire Tinel², Sylvie Marzocchi-Polizzi³ et Hélène de Boissezon²

1 : CS Systèmes d'Information
5, rue Brindejanc des Moulinais - BP 15872, 31506 Toulouse
Tél: +33 (0) 561 39 46 07 - Fax: +33 (0) 561 39 46 10
Thierry.Rabaute@c-s.fr

2 : CNES DCT/SI/AP
18, avenue Édouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9
Tél: +33 (0) 561 27 45 34/+33 (0) 561 28 26 95 - Fax: +33 (0) 561 28 31 09
Claire.Tinel@cnes.fr; Helene.Deboissezon@cnes.fr

3 : CNES DSP/OT
2, place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01
Tél: +33 (0) 144 76 75 90 - Fax: +33 (0) 144 76 78 67
Sylvie.Marzocchi@cnes.fr

Résumé

Le programme Kalideos est issu d'une réflexion que mène le CNES depuis plusieurs années sur les conditions d'accès de la communauté scientifique aux données d'observation de la Terre. Afin de répondre aux difficultés techniques et financières que rencontrent parfois les chercheurs dans l'utilisation de ces données, le CNES a décidé de développer et de maintenir des bases de données rassemblant images satellitaires mises en forme et données exogènes sur des sites dédiés. Ces bases de données sont mises à la disposition des chercheurs sous réserve que ceux-ci effectuent un retour sur les travaux effectués.

Le principe général qui préside à la constitution des bases de données Kalideos est détaillé. Les quatre bases actuellement opérationnelles sont ensuite présentées, permettant d'évoquer pour chacune d'entre elles les principaux résultats obtenus et les partenariats noués.

Mots-clés : Télédétection, bases de données, applications thématiques.

Abstract

The Kalideos programme results from an analysis carried out by CNES since several years about the scientific community access conditions to Earth observation data. In order to answer the financial and technical difficulties met by researchers when using these data, CNES has decided to develop and maintain databases gathering satellite imagery together with exogenous data on dedicated areas. These databases are then put at the disposal of researchers provided the latter give feedback about the work carried out.

The general principle governing the setting up of the Kalideos databases is detailed. The four of them which are currently operational are then presented, leading to mention for each of them the main derived results and of the partnerships that have been established.

Keywords: Remote sensing, databases, thematic applications.

1. Origine du concept Kalideos

Le concept Kalideos est né de la volonté du CNES de soutenir la recherche en télédétection spatiale. Cette initiative s'appuie sur le constat que l'exploitation des données d'observation de la Terre reste complexe sur les plans technique et financier pour de nombreux scientifiques et davantage encore pour les gestionnaires du territoire qui constituent autant d'utilisateurs opérationnels potentiels.

La complexité technique est due aux contraintes liées à la manipulation des images elles-mêmes (volume des données en jeu, mise en œuvre de techniques de correction radiométrique et géométrique, registration temporelle, superposition avec des bases de données cartographiques, etc.), mais aussi aux méthodes d'interprétation pour en extraire l'information recherchée. En effet, celles-ci varient en fonction de la thématique considérée ainsi que des données utilisées et nécessitent souvent une modélisation du phénomène

que l'on cherche à étudier. De façon plus précise, l'exploitation des données d'observation de la Terre se caractérise de plus en plus par la combinaison de plusieurs sources d'informations :

- Des séries temporelles d'images d'un même capteur ou d'une même famille de capteurs,
- Des images de capteurs ayant des caractéristiques différentes en termes de propriétés physiques (optique et radar par exemple), de résolution (grand champ et haute - voire très haute - résolution) ou de répétitivité temporelle,
- Des données géocodées issues d'autres sources (cartes topographiques ou thématiques, modèles numériques de terrain, relevés *in situ*...).

Le développement de méthodes permettant d'exploiter et de fusionner au mieux ces diverses sources implique des activités de recherche pointues qui doivent être réalisées dans des laboratoires spécialisés. Pour valider leurs travaux, ces laboratoires ont besoin de données d'observation de la Terre nombreuses, variées, représentatives et de bonne qualité.

Les contraintes financières sont liées quant à elles au coût élevé de la plupart des images satellitaires, ce qui constitue un frein à leur intégration massive dans des programmes de recherche. Pour pallier cet inconvénient, l'instauration par le CNES du programme Isis a permis de réduire dès 1994 le coût des données Spot afin que celui-ci ne soit plus un facteur limitant pour les chercheurs français.

Néanmoins, les coûts de mise en forme et de préparation de ces données (inter-étalonnage radiométrique, superposition des images, restitution dans une projection cartographique particulière, etc.) restent souvent très élevés. Il en va de même pour les coûts des données annexes, de la documentation adaptée ou des campagnes de mesures terrain qui sont souvent nécessaires pour aider à l'interprétation des images ou à valider le résultat de celle-ci. Au final, le coût de constitution d'un jeu de données adéquat peut être largement supérieur à celui des données brutes et représenter une part notable des efforts de recherche et développement thématiques, au détriment même de l'efficacité globale de ceux-ci.

L'objectif de la démarche « Kalideos, des images pour la science », lancée en 2002 par le CNES, est de répondre à ces enjeux en collectant sur quelques sites choisis le plus grand nombre possible d'images issues de différents capteurs, en les prétraitant afin d'assurer un niveau de qualité géométrique et radiométrique connu et en les rendant accessibles gratuitement à tout scientifique qui en fait la demande pour ses activités de recherche. Une telle approche permet de constituer ainsi des bases de données de télédétection de référence utilisables à long terme (Sand et de Boissezon, 2006a).

Cet article décrit le concept Kalideos d'un point de vue technique et présente les bases de données disponibles

et leur utilisation actuelle ou à court terme, avant de conclure sur l'intérêt de l'approche mise en œuvre.

2. Constitution des bases de données Kalideos

Développées et maintenues par le CNES, les bases de données Kalideos sont avant tout constituées d'images satellitaires issues de différents capteurs optiques ou radar (Spot, ERS SAR, Envisat ASAR, Formosat-2, Radarsat, TerraSAR-X...) à haute ou très haute résolution spatiale. Ces images, prétraitées géométriquement et radiométriquement par le CNES, constituent des séquences temporelles cohérentes, autorisant le suivi régulier de phénomènes naturels ou anthropiques. Les algorithmes utilisés pour les prétraitements sont issus des travaux les plus récents menés par le CNES en matière d'orthorectification, d'étalonnage et de correction des effets atmosphériques.

Des données exogènes (cartes topographiques ou thématiques, relevés terrain, données météorologiques, cartes de rendement, mesures...), dont la disponibilité varie selon les sites, sont également intégrées afin que tous les objets de la base soient « comparables » quelle que soit leur origine. Ces données sont généralement fournies par les utilisateurs scientifiques partenaires du projet.

L'emprise des sites Kalideos est généralement de l'ordre de 50 x 50 kilomètres, ce qui permet d'avoir une vision globale de la zone étudiée en une seule prise de vue dans le cas des capteurs à haute résolution les plus courants, en particulier Spot.

Le CNES assure également la mise à disposition des bases de données Kalideos via un serveur Web dédié (<http://kalideos.cnes.fr>), ainsi que l'administration et la maintenance de celui-ci. Les chercheurs qui souhaitent accéder à une ou plusieurs des bases en ligne sollicitent du CNES une autorisation préalable, accordée exclusivement à des fins de recherche, de R&D ou d'enseignement. À l'obtention de celle-ci, ils peuvent récupérer les données souhaitées de façon transparente et simplifiée par téléchargement direct depuis le serveur. Ils sont de plus invités à enrichir celui-ci et à promouvoir leurs travaux en y insérant leurs propres informations dans des rubriques spécifiques (publications, documents techniques, liens vers d'autres sites en rapport avec la thématique étudiée...). Ces informations font l'objet d'une validation avant d'être autorisées à la consultation par l'ensemble des autres utilisateurs enregistrés.

3. Contenu et mise en œuvre des différentes bases de données Kalideos

3.1. Base de données Kalideos Adam

La première base de données développée selon le concept Kalideos, dénommée Adam (Assimilation de Données satellitaires par Agro Modélisation), s'est

focalisée sur l'étude du blé sur la zone d'agriculture intensive de Fundulea, située en Roumanie dans une région de plaine à l'est de Bucarest.

L'objectif premier de cette base de données était d'analyser l'intérêt de l'assimilation des données spatiales dans les modèles agronomiques simulant le développement du blé, afin de mieux répondre aux besoins en information agricole. Cette approche rejoint celle déjà appliquée dans les domaines de la météorologie et de l'océanographie, où l'intégration de mesures physiques issues de l'imagerie satellitaire dans les modèles permet de les ajuster aux observations de terrain.



Figure 1 : Site Kalideos Adam
Scène Spot 4 XI du 12 avril 2001.

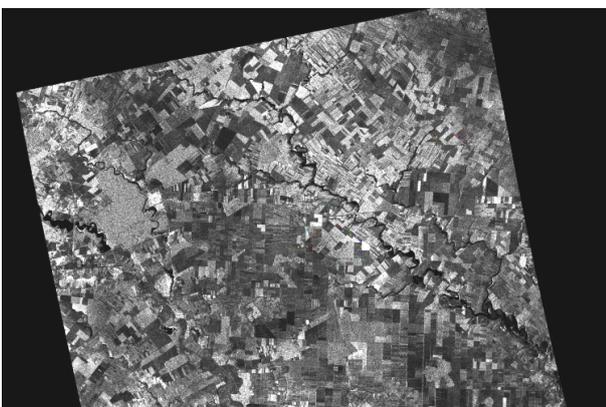


Figure 2 : Site Kalideos Adam
Scène ERS-2 du 10 mai 2001.

Pour mener à bien le projet Adam, un vaste dispositif expérimental a donc été mis en place, en particulier pendant la campagne agricole 2000/2001, avec l'acquisition massive de données ; images satellitaires Spot quotidiennes (**Figure 1**), données ERS (**Figure 2**) et Radarsat, données météorologiques et atmosphériques, relevés de terrain réalisés sur 42 unités expérimentales de 1000 m² pour établir les caractéristiques du sol et du couvert végétal ainsi que les pratiques culturales associées, cartes pédologiques et cartes de rendement obtenues par géopositionnement de moissonneuses batteuses...

Cette base a été ouverte en 2002 à tous les laboratoires en faisant la demande, ce qui a suscité de nombreuses manifestations d'intérêt. L'expérience s'est révélée très prometteuse en termes de retombées scientifiques, en permettant la réalisation d'un grand nombre de travaux. Ceux-ci ont fait l'objet de publications et de thèses sur le thème de la modélisation agrométéorologique et de la prise en compte des images spatiales dans les modèles mis en œuvre (Lauvernet et al., 2003 ; Prévot et al., 2003 ; de Boissezon et al., 2004 ; Vintila et al., 2005), démontrant ainsi la validité du concept original initié par le CNES. Les équipes CNES en charge de la Qualité Image et du développement d'outils d'analyse ont d'ailleurs exploité également cette série unique d'images pour réaliser des études méthodologiques et notamment affiner les coefficients d'interétalonnage entre les différents instruments Spot.

3.2. Base de données Kalideos Isle-Réunion

Après le succès de l'expérience Adam, le CNES a souhaité développer une deuxième base de données, avec cette fois-ci une vocation pluri-thématique. Afin de pouvoir conjuguer différentes applications sur un même site, il était indispensable de trouver une zone suffisamment variée. En raison de sa superficie réduite compatible avec la fauchée de nombreux systèmes d'observation et du contraste de ses paysages, l'île de la Réunion s'est imposée comme un site idéal (Figure 3), son insularité s'avérant déterminante pour éviter au maximum les conflits de programmation.



Figure 3 : Site Kalideos Isle-Réunion
Mosaïque Spot 5 restituée en couleurs naturelles.

C'est ainsi que la constitution de la base de données Kalideos Isle-Réunion (Images Satellite pour L'Environnement à la Réunion) a démarré dès 2002, en s'appuyant sur des thèmes correspondant pour certains à des projets scientifiques déjà initiés :

- La surveillance des phénomènes volcaniques au Piton de la Fournaise avec l'OPGC, l'Université de la Réunion et l'IPGP (Froger et al., 2012) ;

- La modélisation des cultures tropicales et le suivi régulier des coupes de canne à sucre avec le Cirad et le Cemagref/Irstea (Bappel et al., 2005a ; Bappel et al., 2005b ; Houles et al., 2006) ;
- L'érosion des sols, les mouvements de terrain et le suivi du trait de côte avec le BRGM et le Cirad (Soti et al., 2005) ;
- L'observation de l'environnement côtier avec l'IRD.

Très rapidement, l'existence de cette collection unique de données a suscité l'adhésion de nouveaux scientifiques à la démarche Kalideos Isle-Réunion. Des propositions d'études supplémentaires sont apparues, comme par exemple :

- Le suivi des modes d'occupation du sol réalisé entre 2002 et 2005 par l'IRD et le CIRAD dans le cadre du projet TEMOS (Lagabrielle et al., 2007) ;
- L'apport à la modélisation des transferts de magma par l'OPGC ;
- La surveillance des zones coralliennes récifales par l'Université de la Réunion (Pennober et al., 2012) ;
- Le suivi des glissements de terrain de grande ampleur par le BRGM.

A l'heure actuelle, la base de données Kalideos Isle-Réunion comporte plus de 200 produits Spot répartis sur une durée de près de 25 ans, ce qui en fait une archive sans comparaison pour l'analyse des évolutions du territoire de l'île. Les opérations de rectification géométrique et radiométrique de ces données sont effectuées progressivement afin de proposer aux scientifiques un ensemble de données multi-temporelles parfaitement rectifiées et étalonnées, tout en opérant une actualisation régulière des algorithmes et outils mis en œuvre pour garantir le meilleur niveau possible pour les produits finaux.

La base de données Kalideos Isle-Réunion inclut également des photos aériennes numériques et des informations mises à disposition par les organismes scientifiques qui l'ont utilisée. Son enrichissement se poursuit grâce à la programmation régulière de nouvelles prises de vue Spot, Formosat et TerraSAR-X afin de répondre aux attentes des équipes scientifiques utilisatrices et de permettre l'accès des méthodologies développées à un stade pré-opérationnel (El Hajj et al., 2009) ou la prise en compte de nouveaux types de données dans des applications déjà étudiées (Baghdadi et al., 2009).

L'implantation d'une station de réception satellitaire sur l'île de la Réunion, financée dans le cadre du Contrat de Plan État-Région 2007-2010, va donner une nouvelle dynamique à ce processus en favorisant un approvisionnement direct de la base de données Kalideos Isle-Réunion qui pourrait alors faire l'objet

d'une gestion directe par les utilisateurs scientifiques fédérés autour de ce dispositif.

3.3. Base de données Kalideos Littoral

Dans la continuité des actions présentées ci-dessus, le CNES a lancé fin 2006 le développement d'une nouvelle base de données sur une zone côtière métropolitaine afin de diversifier les domaines d'application potentiels de l'imagerie spatiale.

Le premier point visait donc à sélectionner un site d'étude à fort potentiel, à la fois de recherche pour une meilleure compréhension des écosystèmes littoraux, mais également des questions d'aménagement du territoire au sens large (artificialisation des sols, protection de l'environnement, règlement des conflits d'usage...). Ce site devait aussi d'une part être déjà instrumenté et étudié par des équipes scientifiques, et d'autre part bénéficier d'un ensoleillement suffisant pour permettre des acquisitions régulières d'images optiques.

Le choix s'est porté sur le bassin d'Arcachon sur le littoral atlantique (**Figure 4**). Cette région est particulièrement intéressante dans la mesure où elle regroupe des problématiques très diverses, depuis la question de l'érosion des zones dunaires et du déplacement du trait de côte jusqu'à celle de la qualité des eaux, notamment aux abords des zones d'aquaculture, en passant par la pression urbaine et touristique sur les écosystèmes littoraux ou le suivi de la dynamique des passes d'accès au bassin.

Six ans plus tard, la base de données Kalideos Littoral s'est notablement enrichie puisqu'elle rassemble environ 200 scènes Spot réparties sur deux décennies, auxquelles se rajoutent des séries d'images Formosat-2 et ERS-2. Les programmations de prises de vues mises en place tiennent compte dans la mesure du possible du régime des marées qui affectent le bassin, permettant d'acquérir des images dans des conditions de hauteur d'eau très différentes. De plus, une vaste campagne d'observations de terrain a été effectuée au printemps 2008 sur la presqu'île du Cap Ferret, à l'instigation des chercheurs impliqués et en coordination avec les observations satellitaires, afin de collecter des informations pertinentes pour la modélisation des processus géomorphologiques.

Toutes ces données ont été intégrées dans différentes études portant sur les zones côtières (de Boissezon et al., 2010) et ont permis des avancées significatives dans plusieurs domaines :

- La cartographie bathymétrique, appliquée notamment à l'observation des passes à l'entrée du bassin (Dehouck et al., 2009a), mais aussi à l'évolution morphodynamique du littoral sur un intervalle de plusieurs années (Dehouck et al., 2009b ; 2012) ;
- La cartographie d'habitats naturels, permettant de mettre en œuvre des indicateurs spécifiques à des directives réglementaires (Lafon et al., 2009) ;

- Le suivi du trait de côte et la mesure de son évolution à des échelles saisonnières à pluriannuelles (Lafon, et al., 2010), étape indispensable à la mise en place de mesures préventives contre l'érosion côtière.

Le recours aux capteurs TerraSAR-X - actuellement en cours -, Cosmo-SkyMed et Pléiades - à venir - constitue la prochaine étape du développement de la base de données Kalideos Littoral et l'ouverture potentielle vers de nouvelles applications. Ceci accroît encore l'intérêt du concept en l'orientant vers des thématiques propres aux espaces littoraux, permettant ainsi une approche globale et concertée des problématiques liées à ces espaces et favorisant une gestion intégrée des zones côtières.



Figure 4 : Site Kalideos Littoral
Scène Spot 5 J du 16 avril 2010.

3.4. Base de données Kalideos OSR MiPy

Le succès des trois premières bases de données Kalideos et le stade de maturité qu'elles ont atteint ont encouragé le CNES à compléter le panel des sites en leur adjoignant à la fin de l'année 2009 une nouvelle zone. Il s'agit cette fois d'une région du sud-ouest de la France, site pilote pour les futures missions VENUS et Sentinel-2, dont le paysage est essentiellement agricole mais qui se situe à proximité de l'agglomération de Toulouse et comporte donc des secteurs urbains ou péri-urbains (**Figure 5**).

L'objectif à ce niveau est double pour le CNES :

- Prendre en compte dans le cadre de Kalideos de nouvelles thématiques, notamment en relation avec la gestion de l'eau en zone agricole, l'extension des zones urbanisées ou encore le suivi de la trame verte et bleue ;
- Établir un lien avec l'Observatoire Régional Midi-Pyrénées qui assurait jusqu'ici des acquisitions régulières de données d'observation de la Terre sur cette région et a donné à ce titre son nom à la nouvelle base de données.

Les premières données acquises pour démarrer le peuplement de la base Kalideos OSR MiPy sont constituées de séries temporelles Spot et Formosat-2 programmées en tenant compte du calendrier phénologique des principales cultures de la région. Elles seront très rapidement complétées par des données radar, notamment issu des systèmes TerraSAR-X et Cosmo-SkyMed, ainsi que par des données Pléiades dans le cadre de la recette thématique de ce nouvel instrument.



Figure 5 : Site Kalideos OSR MiPy
Scène Formosat-2 du 19 juillet 2009.

Les applications étudiées sur ce nouveau site concernent principalement les domaines de l'agriculture et de l'environnement, en particulier :

- La gestion des ressources en eau dans un contexte où l'irrigation est pratiquée de façon régulière et soutenue ;
- L'analyse de l'interface entre zones urbaines et zones rurales afin de répondre à la problématique de la trame verte et bleue soulevée par le récent Grenelle de l'environnement ;
- La dynamique des activités agricoles et forestières et l'analyse de scénarios d'évolution des paysages.

4. Conclusions et perspectives

Les bases de données Kalideos s'avèrent être des outils puissants qui ont permis de dynamiser la recherche en télédétection spatiale et de créer une synergie entre le CNES, les fournisseurs d'images et les chercheurs.

Les quatre volets Adam, Isle-Réunion, Littoral et OSR MiPy ont permis de collecter un grand nombre d'images issues de différents capteurs et d'informations exogènes associées sur des sites privilégiés et de rendre l'ensemble accessible gratuitement aux chercheurs. Ceux-ci mettent en contrepartie à la disposition générale

leurs propres données et les résultats qu'ils obtiennent grâce aux bases de données, contribuant ainsi à l'enrichissement permanent de celles-ci.

L'implication d'un nombre croissant d'équipes de recherche dans le processus démontre que le concept ainsi mis en œuvre est d'un intérêt majeur, non seulement pour la communauté scientifique, mais également pour le CNES : il a en effet permis aux experts du domaine spatial de bénéficier de retours explicites sur les spécifications des systèmes d'observation récents ou à venir, en particulier Pléiades, VENUS et Sentinel 2, et sur la qualité du prétraitement des images satellitaires actuelles, ainsi que de perfectionner les méthodes mises en œuvre grâce à l'analyse de longues séries temporelles.

Dans ce contexte, le concept Kalideos relève de la notion d'observatoire (Sand et de Boissezon, 2006b). Il constitue aussi un outil adapté à la recherche et à la modélisation, qui permet un transfert de connaissances vers des projets à vocation plus appliquée utiles à la société civile. La prise en compte, au travers des programmes scientifiques qui leur sont associés, de différentes missions d'observation de la Terre assure également le respect d'une cohérence d'ensemble avec les nouveaux programmes européens et une exploitation optimale des produits correspondants.

Cette démarche s'inscrit en outre résolument dans la logique de l'initiative européenne GMES, à laquelle Kalideos se propose d'apporter une contribution significative par le biais des Territoires de Démonstration de Services (TDS). Il s'agit de fédérer autour de zones privilégiées les différents acteurs de GMES (chercheurs, industriels, collectivités, utilisateurs intermédiaires et finaux) afin de faciliter la mise en œuvre de cette initiative à l'échelle régionale. Les sites Kalideos apparaissent donc comme autant de candidats potentiels pour jouer ce rôle de précurseurs de GMES puisqu'ils concentrent déjà des ressources considérables en données et en expertise.

Remerciements

Le programme Kalideos a reçu les labels « Category-1 project » et « Third Party Missions project » de la part de l'ESA, qui a contribué de façon significative à la constitution de la base de données Kalideos Littoral.

De même, le programme Kalideos a bénéficié du soutien du DLR au titre de l'appel à propositions scientifiques « TerraSAR-X Prelaunch initiative », ce qui a permis d'enrichir les bases de données Kalideos Isle-Réunion et Littoral à l'aide de données TerraSAR-X dans de multiples configurations.

Références

Baghdadi, N., Boyer, N., Todoroff, P., El Hajj, M., Bégué, A., 2009. Potential of SAR sensors TerraSAR-X, ASAR/ENVISAT

and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on Reunion Island, *Remote Sensing of Environment* 113(8), 1724-1738.

Bappel, E., Bégué, A., Degenne, P., Lebourgeois, V., Siegmund, B., 2005a. Real-time sugarcane harvest monitoring using Spot 4 and 5 satellite data. Dans: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, Guatemala, Guatemala, 30 janvier-4 février 2005.

Bappel, E., Bégué, A., Martiné, J.F., Pellegrino, A., Siegmund, B., 2005b. Assimilation of a biophysical parameter estimated by remote sensing using Spot 4 and 5 data into a sugarcane yield forecasting model. Dans: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, Guatemala, Guatemala, 30 janvier-4 février 2005.

De Boissezon, H., Favard, J.C., Baret, F., Vintila, R., 2004. The Adam experiment in Romania: an example of reference remote sensing and agronomic data base. Dans: EURISY Conference « The Danube and Europe: integrated space applications in the Danube basin », Constanza, Roumanie.

De Boissezon, H., Rabaute, T., Marzocchi-Polizzi, S., Lafon, V., Dehouck, A., Froidefond, J.-M., Pennober, G., 2010. The Kalideos databases, reference remote sensing data repositories for coastal applications - Content and examples of applications. Dans: Colloque OCOSS, Brest, France, 21-23 juin 2010.

Dehouck, A., Martiny, N., Froidefond, J.-M., Sénéchal, N., Bujan, S., 2009a. New outcomes from spatial remote sensing during the ECORS experiment: towards validation of ocean color products and large-scale bathymetry mapping in a coastal zone. *Journal of Coastal Research* SI 56 (2), 1756-1760.

Dehouck, A., Lafon, V., Sénéchal, N., Castelle, B., Froidefond, J.-M., 2009b. Évolution interannuelle du littoral Sud-Gironde. Dans: Congrès de l'Association des Sédimentologues Français, Rennes, France, 27-29 octobre 2009.

Dehouck, A., Sénéchal, N., Lafon, V., Froidefond, J.-M., Almar, R., Castelle, B., Martiny, N., 2012. Évolution morphodynamique interannuelle à décennale du littoral sud de la Gironde, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 197, 31-42.

El Hajj, M., Bégué, A., Guillaume, S., Martiné, J.F., 2009. Integrating Spot 5 time series, crop growth modeling and expert knowledge for monitoring agricultural practices - The case of sugarcane harvest on Reunion Island. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2052-2061.

Froger, J.-L., Souriot, T., Villeneuve, N., Rabaute, T., Durand, P., Cayol, V., DiMuro, A., Staudacher, T., Fruneau B., 2012. Apport des données TerraSAR-X pour le suivi de l'activité du Piton de la Fournaise : premiers résultats. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 197, 86-101.

Houlès, V., Martiné, J.F., Bégué, A., 2006. Comparison of sensitivity analysis methods for data assimilation in a sugar cane model. Dans: International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Torrent, Espagne.

Lafon, V., Dehouck, A., De Montaudouin, X., Marieu, V., Blanchet, H., Froidefond, J.-M., 2009. Cartographie de l'herbier du Bassin d'Arcachon par télédétection spatiale: potentiel pour le suivi d'un indicateur DCE. Dans: Journées de l'Hydraulique

de la SHF « Morphodynamique et gestion des sédiments dans les estuaires, les baies et les deltas », Paris, France, 22-23 septembre 2009.

Lafon, V., Hoareau, A., Mallet, C., Desprats, J.-F., 2010. Suivi du trait de côte en Aquitaine par imagerie Formosat-2. Dans : Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Les Sables d'Olonne, France, 22-25 juin 2010.

Lagabrielle, E., Metzger, P., Martignac, C., Lortic, B, Durieux, L., 2007. Les dynamiques d'occupation du sol à la Réunion (1989-2002), Mappemonde 86(2-2007), <http://mappemonde.mgm.fr/num14/articles/art07205.pdf>.

Lauvernet, C., Baret, F., Le Dimet, F.X., 2003. Assimilation of high temporal frequency Spot data to describe canopy functioning. The case of wheat crops in the Adam experiment in Romania. Dans : IGARSS, Toulouse, France.

Pennober, G., 2012. Vers une cartographie des trajectoires des communautés récifales en réponse aux perturbations : approche du blanchissement corallien sur l'île de la Réunion. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection 197, 102-111.

Prévoit, L., Voicu, P., Vintila, R., Poenaru, V., De Boissezon, H., Pourthié, N., 2003. Surface soil moisture estimation from SAR data over wheat fields during the ADAM project. Dans : IGARSS, Toulouse, France.

Sand, A., De Boissezon, H., 2006a. Reference Remote Sensing Data Bases: Temporal series of calibrated and orthorectified satellite images for scientific use. Dans : International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Torrent, Espagne.

Sand, A., De Boissezon, H., Lagabrielle, E., 2006b. Kalideos : des images pour la science. Observatoire et aide à la modélisation. Dans : Colloque Interactions Nature-Société, La Baule, France.

Soti, V., Botta, A., Bégué, A., Despinoy, M., Colin, F., 2005. Contribution de la télédétection au suivi de la sensibilité des sols à l'érosion à l'échelle d'un bassin versant (Île de La Réunion), Revue Internationale de Géomatique, 15(4), 439-459.

Vintila, R., Baret, F., Lauvernet, C., Rochdi, N., De Boissezon, H., Favard, J.C., 2005. Monitoring crop status at field level using high revisit frequency satellite observations. Dans: International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Pékin, Chine.