

# Éditorial

## Téledétection pour la surveillance et la gestion de l'environnement

Remote sensing for the monitoring and the management of the environment

Jocelyn Chanussot<sup>1</sup>, Grégoire Mercier<sup>2</sup>,  
and Didier Massonnet<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GIPSA-Lab, Institut Polytechnique de Grenoble

<sup>2</sup> Institut Télécom, Télécom Bretagne, Brest

<sup>3</sup> CNES, Toulouse

e-mail: [jocelyn.chanussot@gipsa-lab.inpg.fr](mailto:jocelyn.chanussot@gipsa-lab.inpg.fr), [gregoire.mercier@telecom-bretagne.eu](mailto:gregoire.mercier@telecom-bretagne.eu), [didier.massonnet@cnes.fr](mailto:didier.massonnet@cnes.fr)

### Résumé

Basée sur une excellence historique dans les domaines du traitement du signal et des images et s'appuyant sur des leaders institutionnels et industriels de l'aéronautique et de l'exploration spatiale (lancement de satellites, développement de capteurs...), la communauté française de télédétection est l'une des plus actives au monde. Accompagnant la création du Chapitre Français de la société IEEE Géoscience et Télédétection (IEEE Geoscience and Remote Sensing Society), ce numéro spécial vise à mettre en lumière des développements méthodologiques récents pour le traitement et l'analyse des signaux et images de télédétection pour la surveillance et la gestion de l'environnement. Ce thème est particulièrement d'actualité, d'une part parce que ces aspects sont au coeur des enjeux sociétaux du 21<sup>ème</sup> siècle, d'autre part parce que les capteurs actuels permettent désormais effectivement d'observer ces phénomènes avec précision, à moindre coût et sur une grande échelle. Néanmoins, la mise en correspondance des potentialités offertes par les nouveaux capteurs avec les applications envisagées nécessite des développements en traitement du signal. Les articles retenus pour ce numéro spécial s'inscrivent dans cette optique.



## 1. Introduction

La « Terre vue du ciel », tout le monde connaît. Les images de la Terre nous sont aujourd'hui familières. Depuis *google-earth*, le grand public peut profiter des observations MODIS, Landsat, SPOT et admirer notre planète au mètre près. On peut évaluer l'impact des incendies de forêt, suivre le tour de France, naviguer dans sa propre ville reconstituée en 3D... On en oublierait que le premier satellite civil d'observation de la Terre fut lancé en 1972, c'est-à-dire il y a moins de 40 ans. À l'époque, il ne s'agissait pas d'admirer la Terre mais bien de l'observer et d'en comprendre certains fonctionnements.

Dans notre société hyper-visuelle, on occulte en effet le travail fastidieux au profit de l'apparence immédiate : une image se

comprend instantanément, croit-on. C'est oublier que la télédétection est d'abord une mesure à traiter, à calibrer, à géo-référencer, à interpréter. Les traiteurs de signaux développent des outils permettant de passer de l'observation à l'information. Alors, elle devient utile en cartographie, en agriculture, sylviculture, géologie, océanologie, hydrologie, etc. Les applications sont de plus en plus nombreuses avec l'augmentation des performances des satellites :

- *résolution spatiale* : que ce soit dans le domaine optique et infrarouge en imagerie passive, ou en imagerie radar, les résolutions métriques ou sub-métriques sont désormais disponibles, donnant accès pour de vastes régions à une précision et une finesse de détails pour l'observation jusque là réservées aux études *in situ* ou aéroportées, c'est à dire avec une couverture limitée.

- *résolution spectrale* : avec l'avènement de l'imagerie multi-spectrale, puis, aujourd'hui, de l'imagerie hyperspectrale, les

données sont désormais acquises dans un nombre important de longueurs d'onde, avec une finesse spectrale accrue. De telles données permettent une caractérisation physique très précise des matériaux imagés telle que celle que l'on pouvait auparavant effectuer en laboratoire avec la spectroscopie. Ce point est capital pour l'observation de nombreux phénomènes (pollution, végétation, ressources géologiques...).

- *résolution temporelle* : le nombre croissant de satellites actuellement opérationnels permet d'accéder à l'observation *quasi* immédiate de n'importe quel phénomène (tsunami, tremblement de terre, incendies...). Les temps de revisite très courts induits permettent également un suivi temporel au jour le jour ou sur de plus longues périodes des phénomènes observés (crues et décrues, érosion des côtes...).

Les nouvelles applications envisagées requièrent de nouveaux traitements. Parallèlement, de nouveaux traitements fournissent de nouveaux produits inédits : l'interférométrie radar est en cela exemplaire ! Dans son histoire, les traitements en télédétection se sont efforcés de compenser la fonction de transfert de l'observation (problèmes atmosphériques, radiométriques, géométriques...). On s'est beaucoup intéressé au filtrage et à l'estimation. Puis de nouveaux modèles ont préféré prendre en compte la variabilité de l'observation afin de fournir de meilleures segmentations ou détections. A présent, en très haute résolution, la variabilité est telle que l'on préfère associer aux observations des modèles géométriques afin d'interpréter la scène.

Les partis-pris sont nombreux et parfois antagonistes : point de vue Bayésien, flou, géométrique... Cette diversité d'applications et de méthodes se retrouve dans ce numéro spécial sur la télédétection. Il est révélateur de l'étendue de la communauté des traiteurs de signaux qui se confrontent aux données d'observation de la Terre dans des contextes tous spécifiques.

Ce numéro spécial accompagne la naissance du Chapitre Français de la société IEEE Geoscience and Remote Sensing (GRS), créé voici deux ans, qui vise donc à fédérer ces efforts méthodologiques et thématiques de la communauté française en télédétection. Faisons en sorte que la télédétection puisse répondre toujours plus efficacement aux questions de notre temps.

## 2. Numéro spécial

### A. Détection automatique de flamants roses par un processus de naissances et morts multiples

Dans cet article [1], S. Descamps, X. Descombes, A. Béchet et J. Zerubia présentent une nouvelle technique de détection automatique de flamants roses sur des images aériennes. L'approche considérée est stochastique et s'appuie sur les processus objets, aussi appelés processus ponctuels marqués. Ici, les objets représentent les flamants. Chaque flamant est alors modélisé par une ellipse. La densité associée au processus ponctuel marqué d'el-

lipses est définie par rapport à une mesure de Poisson. Dans ce cadre gibbsien, cela réduit le problème à une minimisation d'énergie constituée d'un terme de régularisation (densité *a priori*), qui introduit des contraintes sur

les objets et leurs interactions ; et d'un terme d'attache aux données, qui permet de localiser sur l'image les flamants à extraire. Le processus est échantillonné pour extraire la configuration d'objets minimisant l'énergie grâce à une nouvelle dynamique de Naissances et Morts multiples, amenant finalement au nombre total de flamants présents sur l'image. Cette approche donne des comptes avec une bonne précision comparée aux comptes manuels. De plus, elle ne nécessite aucun traitement préalable ou intervention manuelle, ce qui réduit considérablement le temps d'obtention des comptes.

Notons que cette approche peut s'appliquer ou s'adapter à de nombreuses applications pour la surveillance de l'environnement : suivi de la population de différentes espèces animales, mais également étude du couvert forestier.

### B. Interférométrie radar satellitaire et mesures GPS à la surface du glacier d'Argentière : Comparaisons et validations

Dans cet article collectif regroupant de nombreux laboratoires [2], M. Koehl, L. Bombrun, M. Gay, E. Trouvé, Ph. Bolon, J.-M. Nicolas, G. Vasile, Y. Petillot, T. Landes et P. Grussenmeyer s'intéressent à l'étude des glaciers alpins, véritables traceurs de l'évolution du climat. Dans ce cadre, depuis plus d'une dizaine d'années, des mesures de vitesses d'écoulement sont effectuées sur le glacier d'Argentière. S'appuyant sur des mesures plus ponctuelles effectuées lors des expériences menées dans le cadre des projets MEGATOR (<http://www.gipsa-lab.inpg.fr/index.php?id=181>) et EFIDIR (<http://www.polytech.univ-savoie.fr/index.php?id=958&L=0>) soutenus par l'ANR, une vitesse de référence en un point de la zone d'accumulation a été déterminée. La connaissance de cette vitesse d'écoulement permet alors de recalibrer des interférogrammes observés à partir de campagnes ERS 1/2. Ces mêmes interférogrammes servent à la détermination des vitesses d'écoulement sur l'ensemble du glacier, qui elles-mêmes peuvent finalement être comparées à des mesures géodésiques *in situ*. Les résultats étant très proches, la méthode pourra être validée.

### C. Filtrage conjoint de la phase interférométrique et de l'amplitude en imagerie radar par champs de Markov et coupes minimales

Dans cet article [3], L. Denis, F. Tupin, J. Darbon et M. Sigelle franchissent une nouvelle étape dans le traitement des données radar. L'imagerie radar à ouverture synthétique (SAR), comme d'autres modalités d'imagerie cohérente, souffre de la présence du chatoiement (speckle). Cette perturbation rend difficile l'interprétation automatique des images et le filtrage est souvent

une étape nécessaire à l'utilisation d'algorithmes de traitement d'images classiques. De nombreuses approches ont été proposées pour filtrer les images corrompues par un bruit de chatolement. La modélisation par champs de Markov (CdM) fournit un cadre adapté pour exprimer à la fois les contraintes sur l'attache aux données et les propriétés désirées sur l'image filtrée. Dans ce contexte la minimisation de la variation totale a été abondamment utilisée afin de limiter les oscillations dans l'image régularisée tout en préservant les bords. Le bruit de chatolement suit une distribution de probabilité à queue lourde et la formulation par CdM conduit à un problème de minimisation mettant en jeu des attaches aux données non-convexes. Une telle minimisation peut être obtenue par une approche d'optimisation combinatoire en calculant des coupures minimales de graphes. Bien que cette optimisation puisse être menée en théorie, ce type d'approche ne peut être appliqué en pratique sur les images de grande taille rencontrées dans les applications de télédétection à cause de leur grande consommation de mémoire. Le temps de calcul des algorithmes de minimisation approchée (en particulier alpha-extension) est généralement trop élevé quand la régularisation jointe de plusieurs images est considérée.

À l'heure où la pollution atmosphérique et un couvert nuageux croissant rendent l'utilisation des données optiques de plus en plus contraignantes, l'utilisation de données radar pour l'observation de l'environnement, notamment urbain, est un enjeu de plus en plus stratégique.

#### **D. Proposition d'une stratégie de segmentation d'images hyperspectrales**

Dans cet article [4], N. Gorretta, J.-M. Roger, V. Bellon-Maurel, G. Rabatel, C. Lelong et C. Fiorio proposent une stratégie de segmentation d'images hyperspectrales liant de façon symétrique et conjointe les aspects spectraux et spatiaux. Pour cela, des variables latentes permettant de définir un sous-espace représentant aux mieux la topologie de l'image sont construites. Cette notion de topologie est ici réduite à la seule appartenance aux régions. Pour ce faire, les notions de l'analyse discriminante d'une part (variance intra, inter), et les propriétés des algorithmes de segmentation en régions liées à celles-ci d'autre part, sont utilisées. Le principe générique théorique est exposé puis décliné sous la forme d'un exemple d'implémentation optimisé utilisant un algorithme de segmentation en région type *split and merge*. Les résultats obtenus sur une image de synthèse puis réelle sont exposés et commentés.

Le schéma proposé ici est particulièrement générique et novateur. Appliqué à l'étude de végétaux, il pourrait se décliner sur différents types de données hyperspectrales. Il répond favorablement à un besoin de plus en plus exprimé d'analyse conjointement spectrale et spatiale de ce type d'images particulièrement riches en information, mais complexes à étudier.

#### **E. Génération de modèles numériques de terrain par fusion de données lidar et image**

Dans cet article [5], F. Bretar et N. Chehata abordent le problème de la représentation numérique de la surface topographique. C'est une donnée de base pour appréhender toute gestion de l'environnement et des risques naturels. En complément de l'image traditionnelle riche en contenu sémantique, la télédétection active lidar fournit des données altimétriques de la surface terrestre à une précision encore inégalée par les techniques stéréoscopiques classiques. Sous la forme d'un nuage de points tri-dimensionnel, une méthode est proposée pour générer un Modèle Numérique de Terrain à partir de ces données lidar conjointement avec des données image. Une attention particulière est portée aux milieux ruraux peu urbanisés pour lesquels une cartographie grande échelle est un enjeu majeur. L'algorithme proposé est basé sur un filtrage prédictif de Kalman pour lequel la composante temporelle est remplacée par une indexation spatiale. Appliqué au calcul de la pente locale et de l'altitude du terrain, il s'agit de combiner linéairement une mesure basée sur l'analyse du nuage de points dans un environnement local cylindrique et une prédiction basée sur les calculs déjà effectués. Le facteur de combinaison linéaire est calculé en fonction des incertitudes respectives sur la mesure et sur la prédiction des états du système. L'importance de la prise en compte de la pente locale pour la détermination de la hauteur du sol est également soulignée. Si les données lidar fournissent parfois des informations altimétriques sur le terrain en présence de végétation, la densité de points au sol en présence de végétation dense devient très faible. Une adaptation du système de voisinage local basé sur l'intégration de données image et d'intensité lidar au sein d'un prédicteur de zones de végétation haute est alors introduite. Celui-ci s'accroît lorsque la densité de points au sol diminue, augmentant ainsi la probabilité de trouver des points sol. Des résultats prometteurs pour la poursuite de ce travail sont présentés sur le Golfe du Morbihan.

#### **F. Classification de couverts végétaux par analyse de textures couleurs d'images satellites haute résolution**

Dans cet article [6], M. Abadi and E. Grandchamp présentent une application de la télédétection pour la gestion des espaces forestiers des îles des Caraïbes. La problématique générale est la protection des forêts par le suivi de leurs frontières avec les zones agricoles. Cette problématique est particulièrement sensible du fait du caractère insulaire des forêts et difficile du fait d'une occupation hétérogène du territoire. En effet, les parcelles agricoles sont de taille et forme très variées, réparties sur tout le territoire et souvent mêlées à la végétation. Le suivi des frontières nécessite de reconnaître et localiser les différents couverts végétaux. Après une recherche de l'espace couleur hybride adapté à l'image et une fusion des différentes bandes acquises par un satellite (afin de combiner haute résolution spatiale et

spectrale), une caractérisation des différents couverts est obtenue en calculant des descripteurs de couleur et de texture. Différentes méthodes d'extraction (matrices de co-occurrences, moment de Hu, filtre de Laws, filtre de Gabor...) sont utilisées pour calculer ces descripteurs. Une classification est ensuite appliquée pour segmenter l'image. Pour la validation de l'approche, l'absence de vérité terrain a contraint les experts à réaliser une évaluation visuelle.

## 3. Conclusions

Les travaux présentés ici ne sont que quelques exemples des nombreuses applications actuelles. Ils recouvrent un large panorama d'applications (suivi de la végétation ou de populations animales, étude de l'environnement urbain etc...) et font appel à un large panel de données et modalités actuellement disponibles :

- Données optiques à haute résolution panchromatiques et/ou multispectrales
- Données hyperspectrales
- Données radar à ouverture synthétique et interférométriques
- Données 3D : modèles numériques de terrain
- L'utilisation conjointe de plusieurs modalités, également abordée dans ce numéro, constitue également un point stratégique des recherches en cours.

Les enjeux environnementaux auront un poids considérable à l'avenir. L'observation est la première étape nécessaire à la gestion, la surveillance et la protection de l'environnement. La gestion des ressources naturelles (eau, énergie...) en est un corollaire. La télédétection fournit un outil de choix pour traiter toutes ces applications. Grâce à son expertise en traitement de l'information, son excellence dans le domaine aéronautique, la communauté française dispose de nombreux atouts pour être leader dans ce domaine. L'initiative du CNES de développer une boîte à outils *open source* de traitements dédiés à la télédétection (ORFEO ToolBox: <http://www.orfeo-toolbox.org/>) est à

cet égard remarquable et d'ores et déjà un succès reconnu. La création du Chapitre Français de la IEEE Geoscience and Remote Sensing Society s'inscrit dans l'optique de donner à notre communauté la visibilité internationale qu'elle mérite. Ce numéro spécial en est une contribution. Bonne lecture et bonne suite pour vos travaux !

## 4. Remerciements

Les éditeurs de ce numéro spécial remercient l'ensemble des auteurs ayant soumis leurs travaux pour publication dans *Traitement du Signal* ainsi que les relecteurs ayant expertisé ces articles.

## Références

- [1] S. DESCAMPS, X. DESCOMBES, A. BÉCHET, and J. ZERUBIA, «Détection automatique de flamants roses par un processus de naissances et morts multiples», *Traitement du Signal*, vol. 26, no. 1, 2009.
- [2] M. KOEHL, L. BOMBRUN, M. GAY, E. TROUVÉ, P. BOLON, J.-M. NICOLAS, G. VASILE, Y. PETILLOT, T. LANDES, and P. GRUSSENMEYER, «Interférométrie radar satellitaire et mesures gps à la surface du glacier d'argentine : Comparaisons et validations», *Traitement du Signal*, vol. 26, no. 1, 2009.
- [3] L. DENIS, F. TUPIN, J. DARBON, and M. SIGELLE, «Filtrage conjoint de la phase interférométrique et de l'amplitude en imagerie radar par champs de markov et coupes minimales», *Traitement du Signal*, vol. 26, no. 1, 2009.
- [4] N. GORRETTA, J.-M. ROGER, V. BELLON-MAUREL, G. RABATEL, C. LELONG, and C. FIORIO, «Proposition d'une stratégie de segmentation d'images hyperspectrales», *Traitement du Signal*, vol. 26, no. 1, 2009.
- [5] F. BRETAR and N. CHEHATA, «Génération de modèles numériques de terrain par fusion de données lidar et image», *Traitement du Signal*, vol. 26, no. 1, 2009.
- [6] M. ABADI and E. GRANDCHAMP, «Classification de couverts végétaux par analyse de textures couleurs d'images satellites haute résolution», *Traitement du Signal*, vol. 26, no. 1, 2009.