

L'IMAGERIE SPATIALE A TRES HAUTE RESOLUTION AU COEUR DU DISPOSITIF DE GEOSPATIAL CLOUD COMPUTING QĚHNELÖ™ : APPLICATION AUX DONNEES PLEIADES EN NOUVELLE-CALEDONIE.

Rémi Andreoli¹, Benoit Ducarouge¹, Jonathan Maura¹, Audrey Leopold², Pierre-Nicolas Mougel³, Arnaud Durand⁴, Cyril Marchand², Nazha Folsher-Selmaoui³, Hervé yesou⁴, Claire Tinel⁵, Delphine Fontanaz⁵, Didier Lille¹

1: Bluecham SAS, Nouméa : remi.andreoli@bluecham.net

2: IRD, Nouméa

3: PPME - Université de la Nouvelle-Calédonie, Nouméa

4: SERTIT - Université de Strasbourg, Strasbourg

5 : CNES - Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse.

Résumé

La Nouvelle-Calédonie est un archipel situé dans le sud-ouest de l'océan Pacifique. Il concentre les principales particularités des pays insulaires du Pacifique: îles entourées par un lagon fermé par des récifs coralliens et couvertes par une végétation typique; exposées à aux risques littoraux majeurs (ouragan, tsunami, changement climatique et élévation du niveau marin) (Mimoura, 1999). Les données de télédétection à partir de satellites d'observation de la Terre constituent l'une des principales sources d'information sur l'environnement. Au cours des 40 dernières années, la qualité, la précision, la couverture et la répétitivité des données de télédétection ont été constamment améliorés. La constellation Pléiade offre depuis 2012 la possibilité de recueillir des données multispectrales tri-stéréoscopiques à 70 cm de résolution dont le potentiel pour fournir des informations utiles aux décideurs en Nouvelle-Calédonie a été évalué sur le suivi des mangroves, la cartographie de l'érosion des sols et la vulnérabilité aux aléas cyclonique et tsunami. Le défi majeur est donc de fournir aux décideurs la bonne information au bon moment et d'une manière conviviale à partir de ce type de données. Le *Geospatial Cloud Computing* de QĚhnelö™ permet le développement de plateformes Web capables de se connecter à des bases de données distribuées, exploiter les données, exécuter des processus distants d'analyse et de modélisation. Il permet ainsi la combinaison de données de télédétection avec des données distribuées dans des outils d'analyse spatiale pour suivre l'environnement soumis aux contraintes sociales et industrielles pour une prise de décision efficace par des non-spécialistes.

Mots-clés : Geospatial Cloud Computing, environnement, Pléiades, Modèle Numérique de Terrain, MNT, tri-stéréoscopie, érosion, tsunami, cyclone, mangroves, récifs

Abstract

New Caledonia is an archipelago in the south-west of the Pacific Ocean. It concentrates the main particularities of Pacific Island countries: islands surrounded by a lagoon closed by coral reefs and covered by typical vegetation; and they are exposed to littoral risks (hurricane, tsunami, climate change, sea level rise) (Mimoura, 1999). Remote sensing data from earth observation satellites constitutes one of the major sources of environmental information. During the last 40 years, the quality, precision, coverage and repetitiveness of the remote sensing data have been constantly improved. The Pleiade constellation offers since 2012 the ability to collect tri-stereoscopy multispectral data at 70 cm resolution from which the potential to provide valuable information to decision makers was assessed concerning the mangroves monitoring, soil erosion mapping and hurricane and tsunami vulnerability evaluation. Then, the key challenge is therefore to provide decision makers with the right information at the right time and in a user-friendly manner. Cloud computing technology allows the development of web based platforms which are able to connect to scattered databases to exploit data, perform scientifically-based data analysis and modeling processes. Based on the environmental geospatial cloud computing concept, the QĚhnelö platform allows the combination of remote sensing data and spatial analysis with any other remote database to assess the environment under social and industrial constraints and monitor the risks in an all-in-one package for effective decision-making by non-specialists.

Keywords: *Geospatial Cloud Computing, Pléiades, Environment, Digital Elevation Model, DEM, tri-stereoscopy, erosion, tsunami, cyclone, mangroves, reefs*

1. Introduction

La Nouvelle-Calédonie, archipel mélanésien de l'ouest de l'Océan Pacifique, est caractérisée par son patrimoine et sa richesse naturelle. Il concentre les principales caractéristiques des pays insulaires du Pacifique : des îles entourées par un vaste lagon fermé par une barrière de Corail couvertes d'une végétation tropicale typique (Mimoura, 1999). Le lagon de

Nouvelle-Calédonie, plus grand lagon fermé au monde, et sa barrière de corail sont inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2008. De plus, la végétation de l'archipel présente un taux élevé d'endémisme.

Mais, le littoral de la Nouvelle-Calédonie se situe dans une zone à aléa cyclonique et de tsunami locaux, régionaux et lointain (Mimoura, 1999). De plus, des épisodes de précipitations intenses récurrents

entraînent l'érosion des sols dont la vulnérabilité est accentuée par les feux, l'activité minière passée et récente et les activités humaines. Riches en métaux lourds, les produits de l'érosion transitent jusqu'aux mangroves et au lagon en causant parfois, lors d'événements paroxystiques, une augmentation de la mortalité des poissons et le blanchiment du corail. Dans ce contexte, les enjeux de préservation de l'environnement pour les décideurs locaux sont complexes et nécessitent l'accès à des connaissances hétérogènes (information issues de modèles, données topographiques, données de caractérisation de l'environnement).

Les données d'observation de la Terre constituent une des sources majeures d'information environnementale. Durant les quarante dernières années, la qualité, la précision, la couverture et la répétitivité n'ont cessés d'être constamment améliorés. Suivant cette dynamique, les données de la constellation Pléiades permettent depuis 2012 d'accéder à des données à très haute résolution (70 cm), sur de vastes emprises, et en tristéréoscopie.

Le potentiel des données Pléiades a été évalué pour fournir aux décideurs locaux des informations essentielles pour le suivi et la gestion de leur patrimoine environnemental. Un intérêt particulier a été porté aux processus d'érosion des sols et le transport des sédiments depuis les montagnes jusqu'aux récifs, aux mangroves, et le littoral.

De plus, l'intégration des données Pléiades au dispositif de *Geospatial Cloud Computing* de *Qéhnelo™* permet l'analyse et la combinaison de ces données avec des modèles de traitements spécifiques et des informations exogènes distribuées. Cela répond au challenge de fournir, dans une solution clé en main, la bonne information au bon moment aux décideurs et élus locaux.

2. Données utilisées et prétraitements réalisés

2.1. Données Pléiades

Dans le cadre du programme ORFEO - Recette en vol thématique utilisateur (RTU) des satellites Pléiades du CNES (Tinel, 2014), deux sites d'acquisition de données Pléiades (figures 1 et 2) ont été définis sur le continuum terres - littoral - récifs sur le territoire de la commune de Yaté, Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie (Andreoli, et al. 2014a, 2014b, 2014c) : le littoral de la Grande Terre (560 km²) et le récif Merlet (80 km²).



Figure 1 : Localisation de la commune de Yaté en Nouvelle-Calédonie.

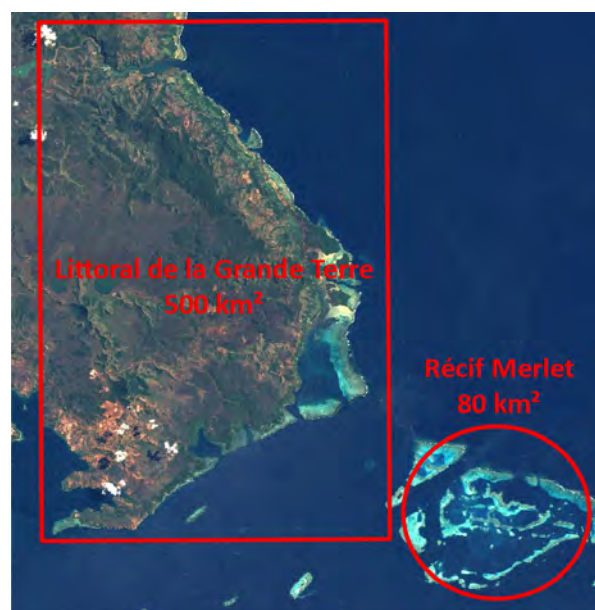


Figure 2 : Localisation des deux zones d'acquisition des données Pléiades sur le grand Sud de la Nouvelle-Calédonie (fond, image Landsat 7, © USGS 2002).

Sept données Pléiades à très haute résolution (70 cm) ont été acquises sur ces deux secteurs entre juillet 2012 et décembre 2013 (tableau 1 et figure 3). Ces données comprennent un triplet stéréoscopique sur le secteur du littoral de la Grande Terre afin de disposer d'une information topographique à jour sur le secteur. Les 6 données suivantes ont été acquises en mode monoscopique afin d'assurer le suivi de ces deux secteurs sur une période de 2 ans.

Les données fournies sont de type "capteur parfait", en mode *bundle* (panchromatique et multispectrale séparés), et au format JPEG2000 avec métadonnées associées au format DIMAP.

Type de données	Date d'acquisition	Secteur couvert
Triplet tri-stéréoscopique	13/07/2012	Littoral de la grande Terre
Donnée monoscopique	13/07/2012	Récif Merlet
Donnée monoscopique	11/01/2013	Récif Merlet
Donnée monoscopique	28/09/2013	Littoral de la grande Terre
Donnée monoscopique	28/09/2013	Récif Merlet
Donnée monoscopique	14/12/2013	Littoral de la grande Terre
Donnée monoscopique	28/12/2013	Littoral de la grande Terre

Tableau 1 : Données Pléiades acquises dans le cadre du programme ORFEO - Recette thématique utilisateurs.

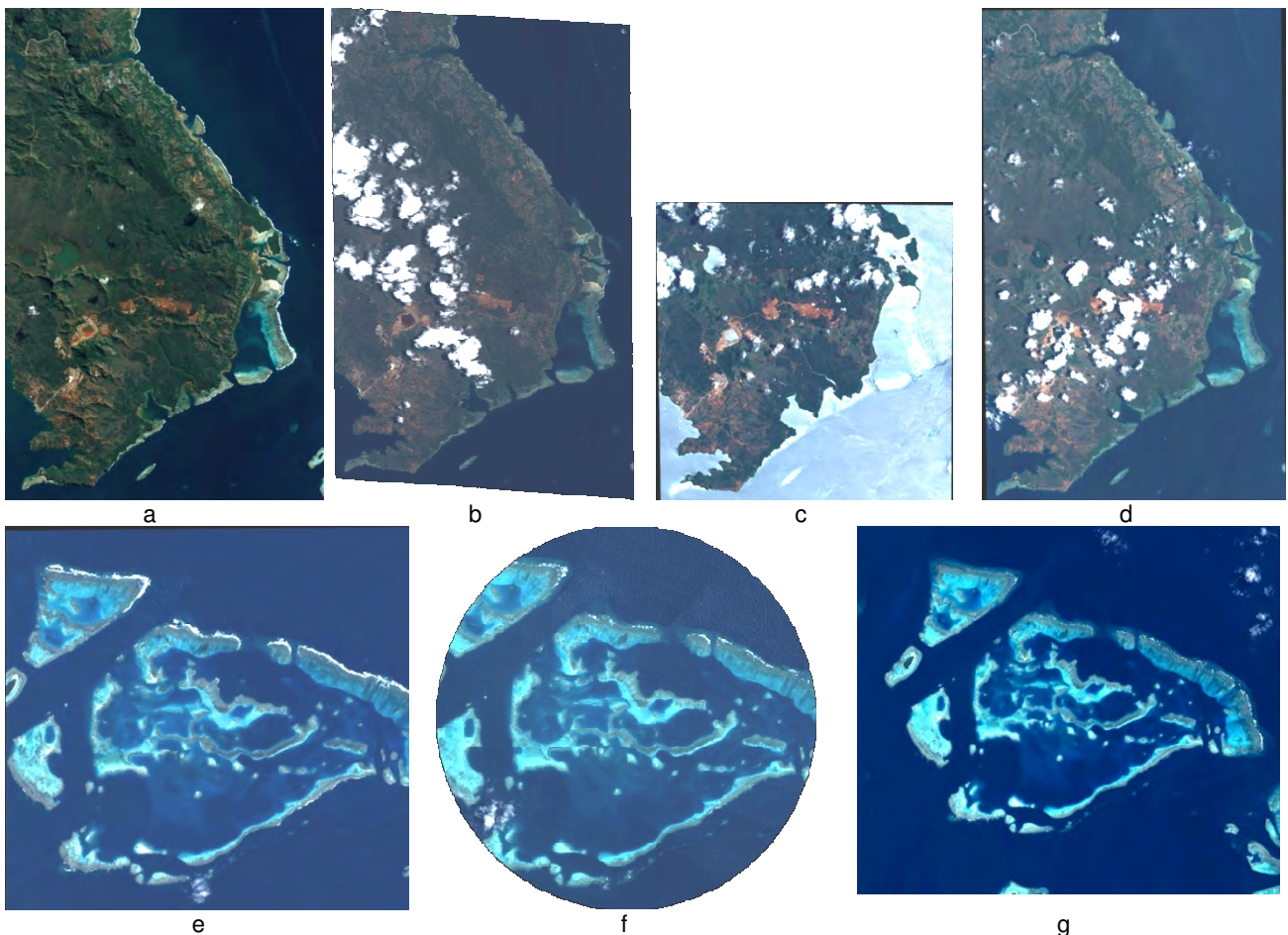


Figure 3 : Données Pléiades mises à disposition dans le cadre du programme d'accompagnement ORFEO - Recette Thématique Utilisateur, a. données tristéoscopiques sur le littoral du 13/07/2012, b. données monoscopiques sur le littoral du 28/09/2013, c. données monoscopiques sur le littoral du 14/12/2013, d. données monoscopiques sur le littoral du 28/12/2013, e. données monoscopiques sur le récif Merlet du 13/07/2012, f. données monoscopiques sur le récif Merlet du 11/01/2013, g. données monoscopiques sur le récif Merlet du 28/09/2013; © CNES (2012, 2013) distribution Airbus DS/Spot Image.

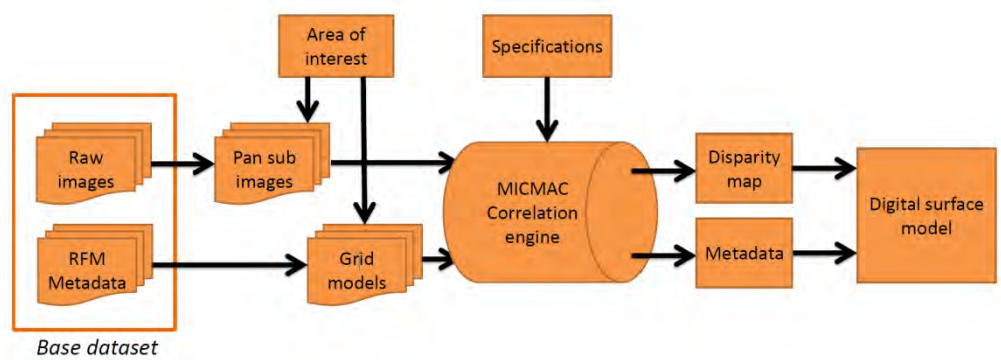


Figure 4 : Algorithme d'extraction du modèle numérique de surface (Durand et al., 2013).

2.2. Extraction du modèle numérique de surface

Le triplet stéréoscopique de données Pléiades acquis le 13/07/2012 sur le secteur littoral a permis d'extraire le modèle numérique de surface à l'aide de 2 logiciels :

- logiciel Micmac de l'IGN (Durand et al., 2013);
- logiciel ERDAS eATE 2014.

L'extraction du modèle numérique de surface à l'aide du logiciel Micmac a été réalisé par le SERTIT en

exploitant uniquement les paramètres d'acquisition du satellite (Figure 4).

Le même procédé a été réalisé à l'aide du logiciel ERDAS eATE par Bluecham SAS en intégrant 7 points de contrôle du réseau de géodésie et de nivellement du service topographique du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (DITTT).

Les modèles numériques de surface ont été générés à une résolution planimétrique de 1 m.

Méthode	Biais moyen	Ecart-type	Coefficient de corrélation (r)
Micmac (Durand et al., 2013)	-0,489 m	4,251 m	0,998
ERDAS eATE avec 7 points de contrôle terrain	-0,152 m	0,839 m	0,998

Tableau 2 : comparaison des modèles numériques de surfaces Pléiades et du modèle numérique de terrain Lidar.

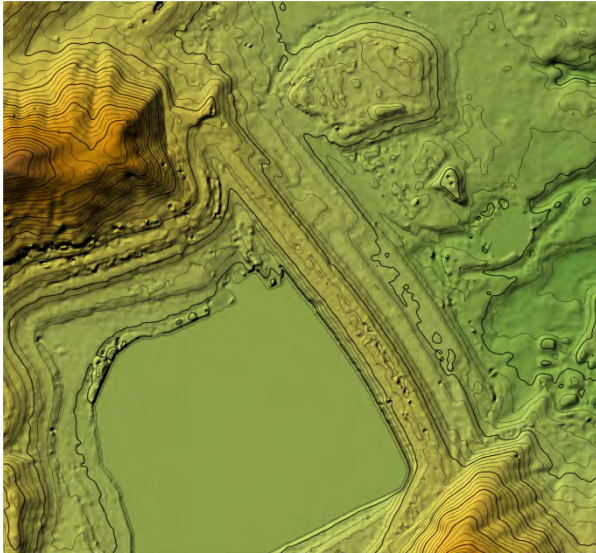


Figure 5 : modèle numérique de surface par la méthode eATE à partir du triplet d'images Pléiades de juillet 2012.

Ces deux modèles ont été comparés au modèle numérique de terrain à 1 m de précision, réalisé en 2009 à l'aide de la technologie Lidar par la société VALE Nouvelle-Calédonie, exploitante de la mine de nickel sur le plateau en bordure du littoral de la commune de Yaté. La comparaison entre le modèle numérique de surface Pléiades et le modèle numérique de terrain Lidar a été effectuée par l'analyse de la corrélation pixel à pixel entre ces deux modèles. Les résultats sont présentés dans le tableau 2 et la figure 6.

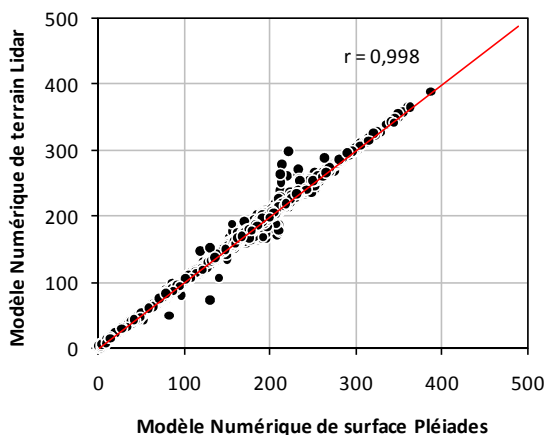


Figure 6 : Corrélation entre le modèle numérique de surface dérivé de l'image tristéoscopique Pléiades acquise le 13 juillet 2012 et le modèle numérique de terrain Lidar de référence.

2.3. Pré-traitement des données Pléiades

Les données Pléiades ont été ensuite orthorectifiées en exploitant le modèle numérique de surface généré à partir du triplet stéréoscopique, des coefficients RPC associés aux métadonnées ainsi que la saisie de points d'amer en nombre suffisant sur les photographies aériennes de référence du service topographique du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (DITTT) afin d'assurer un RMSE $\leq 0,5$ pixels.

Les données ont également été radiométriquement étalonnées selon la formule de modélisation de la réflexion *top-Of-Atmosphere* du spectre de radiation fournie par Schowengerdt, (1997) :

$$\rho_p = \pi \times 10^4 \times d^2 \times \sin^{-1} \theta_e \times \frac{DN_\lambda}{CC_\lambda \times Bw_\lambda \times Esum_\lambda} \quad (1)$$

avec d : distance terre-Soleil; θ_e : angle d'élévation solaire ; DN_λ : valeur numérique d'un pixel de l'image, CC_λ : coefficient de calibration; Bw_λ : largeur de la bande spectrale ; $Esum_\lambda$: irradiance solaire.

3. Informations à valeur ajoutée dérivées des données Pléiades

A partir des données Pléiades orthorectifiées et étalonnées et du modèle numérique de surface, des produits à valeur ajoutée ont été élaborés pour caractériser les enjeux ou les aléas sur le littoral de la commune de Yaté.

3.1. Caractérisation de l'érosion des sols

Une méthodologie d'identification des lavakas a été mise en place par l'exploitation d'indices, d'analyse de texture combinée avec des processus de fouille de

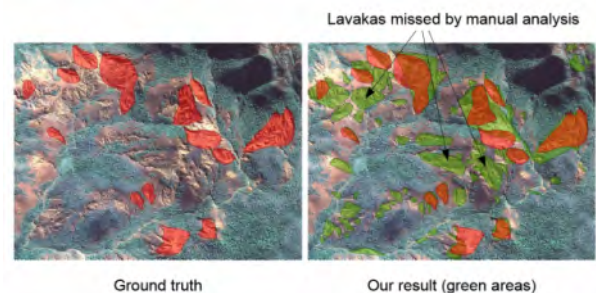


Figure 7 : Résultats de la détection automatique des lavaka par fouille de données appliquée à l'image Pléiades acquise le 13 juillet 2012.

données multitemporelles exploitant une archive satellitaire forte de plus d'une dizaine d'images historiques SPOT 4 et 5 et d'une image GeoEye-1 en complément de la couverture Pléiades tristéoscopique de juillet 2012. Les résultats obtenus (figure 7) par le PPME (Université de la Nouvelle-Calédonie) démontre l'efficacité des données Pléiades pour l'analyse des formes érosives complexes telles que les lavaka ainsi que leur potentiel d'exploitation en synergie avec des données multi-sources, multi-résolution dans des procédés de fouille de données (Andreoli R., et al. 2014b).

D'autre part, la modélisation du risque érosif a été améliorée en intégrant les modèles numériques de surfaces à très haute résolution, les données de couverture végétales et de type de sols issues de procédés de classification expert des données Pléiades (figures 8 et 9) (Andreoli et al. 2014b).

3.2. Cartographie des mangroves

La répartition spatiale des principales strates de mangroves (*Rhizophora ssp.*, *Avicennia*, *tannes*) sont la résultante des contraintes qui s'exercent sur le milieu, notamment les apports de sédiments liés à l'érosion ou la montée du niveau de la mer (Marchand et al., 2013).

La méthodologie de classification des mangroves à partir de données très haute résolution 50 cm proposée par Marchand et al., (2013) a été appliquée aux données Pléiades sur les mangroves de l'embouchure de la Kwé Binyi. La méthode développée par Marchand et al., (2013) et testée sur des images GeoEye-1 et Worldview-2 propose des résultats dont la précision thématique est supérieure à 90% pour chaque strate de la mangrove.

La méthodologie a néanmoins du être adaptée aux données Pléiades du fait de :

- la superposition des bandes spectrales du capteur Pléiades dans le visible entraînant des confusions de signatures spectrales (figure 10);
- la résolution native de 70 cm, rééchantillonnée à 50 cm, entraînant des erreurs de classification des arbustes de type *Avicennia* (figure 11) du fait de leur petite taille.

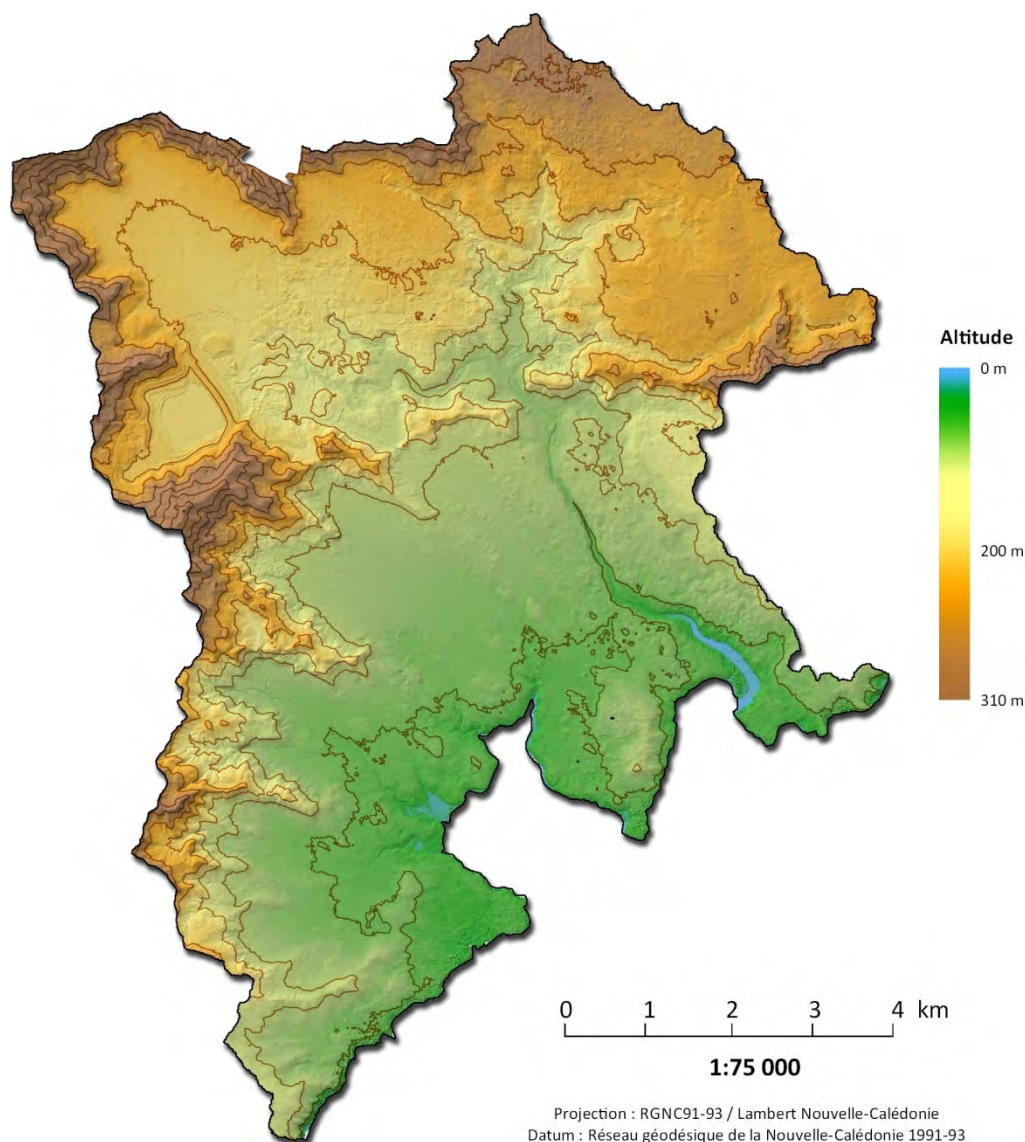


Figure 8 : Modèle numérique de surface issus des données tristéoscopiques Pléiades de 13 juillet 2012 sur la bassin versant de la Kwé (Commune de Yaté).

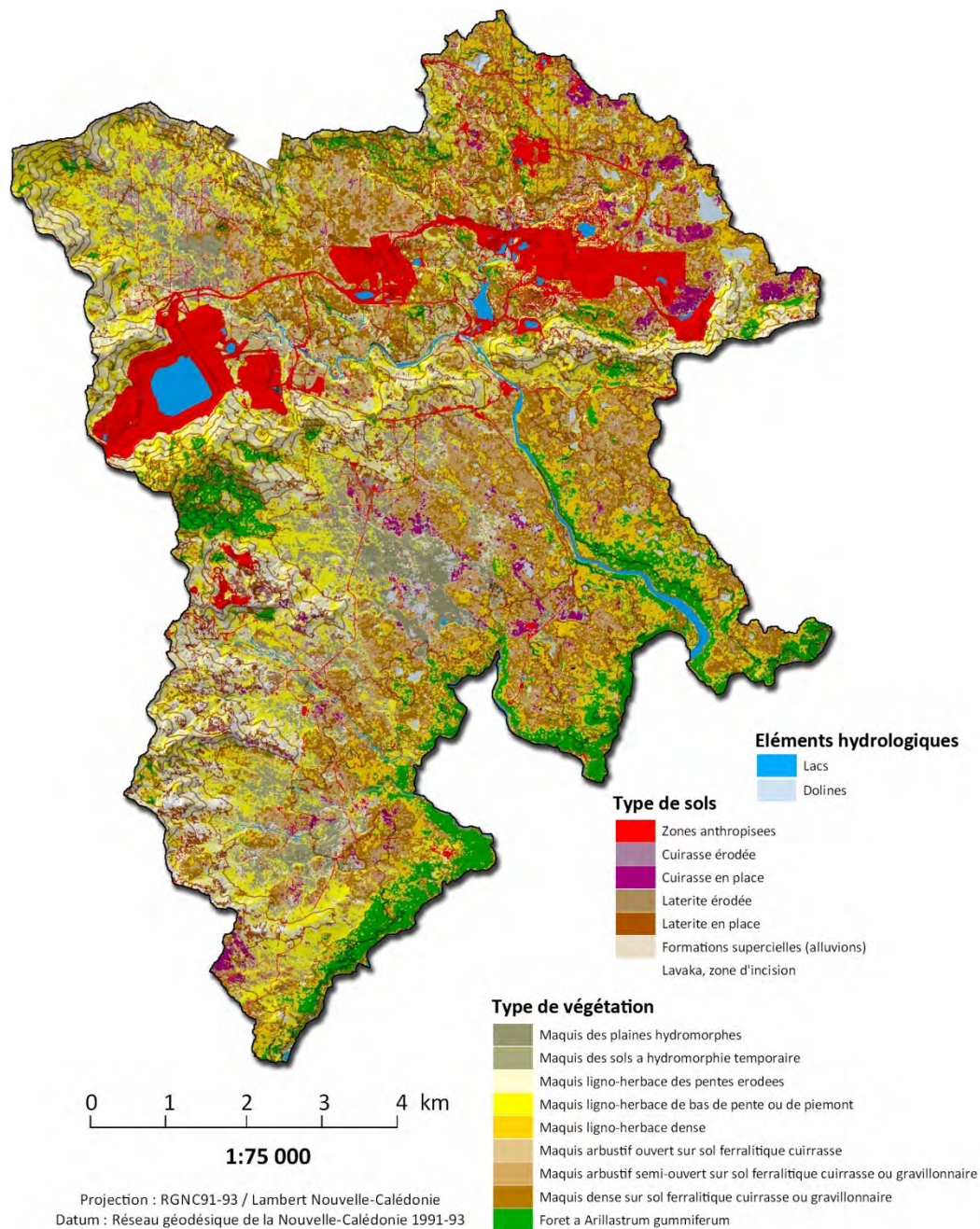


Figure 9 : Typologie des sols et de la végétation en bas issues des données tristéréoscopiques Pléiades de 13 juillet 2012 sur la bassin versant de la Kwé (Commune de Yaté).

Ainsi, le modèle numérique de surface extrait des données tristéréoscopiques Pléiades a été intégré aux étapes de classification des types de mangroves (Andreoli, et al. 2014a). En effet, les *Avicennia* se distinguent par leur taille buissonnante souvent inférieure au *Rhizophora ssp.*

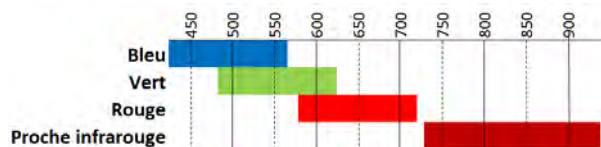


Figure 10 : Superposition des bandes du capteur Pléiades dans le domaine visible.

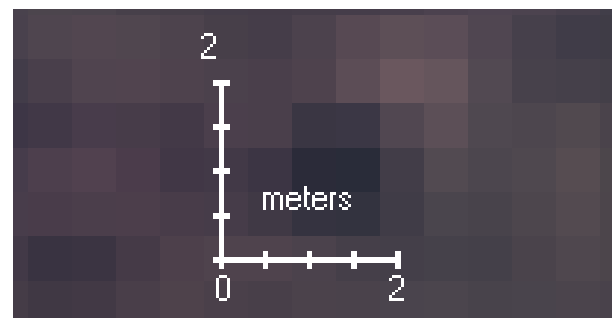


Figure 11 : un *Avicennia* (tâche sombre) observé par Pléiades le 13/07/2012, © CNES (2012) distribution Airbus DS/Spot Image. Le houppier est d'environ 2 m de diamètre, soit moins de 9 pixels "natifs" Pléiades à 70 cm.

4. Mise à disposition des utilisateurs finaux

4.1. Le dispositif de Geospatial Cloud Computing Qëhnelö™

Qëhnelö™ est le système d'aide à la décision en aménagement et gestion de l'environnement sur le WEB qui a été développé pour répondre aux attentes des décideurs et des populations océanniennes. Avec un simple navigateur Internet, Qëhnelö™ donne l'accès à l'ensemble des connaissances relatives à un territoire. Cette technologie, "le *Geospatial Cloud Computing*", à vocation géographique, est inscrite dans le *Cloud*. Son architecture modulaire permet de s'adapter de manière précise à de multiples demandes. Une plateforme Qëhnelö™ est un ensemble d'applications (ou logiciels/modules) auquel les utilisateurs accèdent de manière sécurisée par le WEB. Ces applications utilisent des ressources en ligne (bases de données géographiques, bibliothèques, annuaires, modèles mathématiques) et offrent des services à haute valeur ajoutée (cartographie rapide, analyse du territoire, suivi environnemental, prévision, études d'impact) (Lille D., 2007).

La technologie Qëhnelö™ est basée sur une architecture client-serveurs et utilise les technologies les plus récentes afin de fournir un service fluide tout en réalisant des tâches complexes. Coté client les plateformes exploitent les nouvelles normes du HTML5 permettant ainsi d'exploiter la puissance de calcul de la carte graphique des postes clients grâce à la technologie WebGL. Les serveurs géographiques

s'appuient sur des bases de données PostGIS 2.1 permettant ainsi d'exploiter des séries temporelles raster.

Le dispositif de *Geospatial Cloud Computing* comprend un ensemble de services de types WCS et WPS. Le WCS (*Web Coverage Service*) fournit un accès aux données de type raster (imagerie, classification) selon le format standard défini par l'OGC (*Open Geospatial Consortium*) afin que celles-ci puissent être utilisables par des modèles ou des algorithmes de calcul (OGC, 2012). Le WPS (*Web Processing Service*) permet d'offrir des fonctionnalités de traitement des données spatiales selon le standard international de l'OGC (OGC, 2007). Tous les traitements utilisés pour les serveurs WPS de Qëhnelö™ sont développés en C++ et utilisent des bibliothèques de calculs spécifiques aux images satellitaires tel que l'ORFEO-ToolBox (figure 12).

Ce dispositif innovant permet de fluidifier l'apport des données spatiales en lui donnant du sens. On ne parle alors plus de données satellitaires mais de solutions métiers, qu'elles soient pour les pompiers, les techniciens, les décideurs ou les scientifiques. Cette solution dans le *cloud* permet d'une part de s'adapter à la demande des utilisateurs par le choix des flux et des applications (classification, modélisation, suivi temporel), et d'autre part de dimensionner avec le client le service en mode SaaS (*Software as a Service*). Première solution sur mesure, tant du point de vue technologique que financier, cette nouvelle approche ouvre la porte à de nouveaux utilisateurs de la production spatiale.

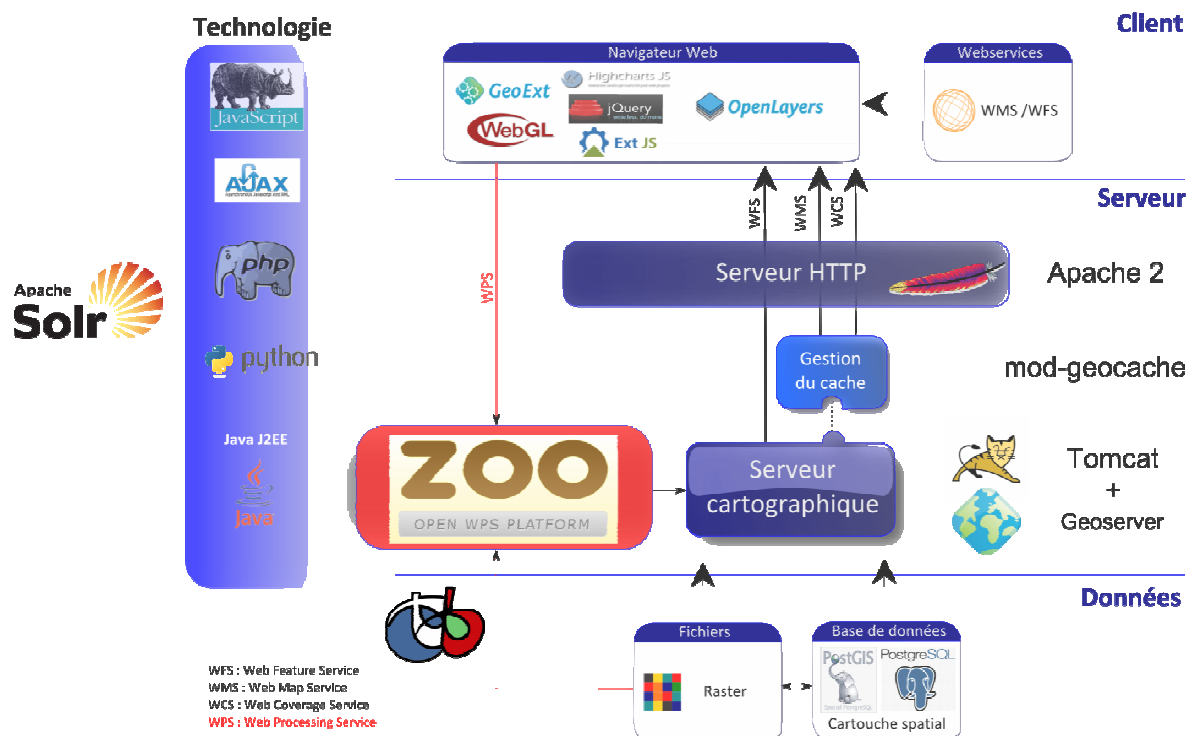


Figure 12 : architecture du dispositif Qëhnelö™.

4.2. Intégration des données Pléiades et des produits à valeur ajoutée

Plusieurs produits avec différents niveau de valeur ajoutée sont intégrés au coeur du dispositif Qêhnelö™ :

- Les données Pléiades étalonnées et orthorectifiées ;
- Une mosaïque d'orthoimage en couleurs naturelles à des fins de visualisation ;
- Le modèle numérique de surface ;
- Les produits à valeur ajoutée créés spécifiquement pour les besoins des utilisateurs à l'aide du logiciel ERDAS Imagine 2014 (typologie des sols, des mangroves, de la végétation).

Les données raster ont été insérées en base de données PostGIS 2.1 et interfacées avec un serveur de données géographiques GeoServer afin de permettre leur exploitation par différents protocoles web d'analyse selon les manipulations effectuées au sein des différents modules de la plateforme :

- WCS pour les modèles d'analyse et de traitement des images
- WPS pour l'exploitation des modèles de production sédimentaire, de risque de submersion, d'analyse topographique, ou d'identification des changements, etc.

Tous les résultats de traitements issus du dispositif Qêhnelö™ ainsi que l'orthoimage en couleurs naturelles sont servis aux utilisateurs finaux selon le protocole WMS permettant la consultation en ligne des données et des résultats ainsi que la création de cartographies et de documents de support pour l'aide à la décision.

Ainsi, la consultation des données, produits dérivés et résultats d'analyse s'effectue par le biais d'applications métiers SIG et de cartographie 2D mais également par les applications de visualisation 3D (Image et Modèle Numérique de Terrain).

Les données Pléiades et produits dérivés entrent également dans deux modèles exploités par les décideurs et les pompiers : la modélisation de l'érosion et la modélisation de l'impact d'une vague de tsunami ou de tempête.

4.3. Utilisation des données satellitaires Pléiades dans le dispositif de Geospatial Cloud Computing Qêhnelö™

Dans le cadre de cette technologie, les produits Pléiades sont utilisés par les populations locales par l'utilisation d'un ou plusieurs modules des plateformes Qêhnelö™.

4.3.1. Visualisation et analyse des données

Le module QeSIG permet de croiser, mettre en forme et générer un projet à partir de l'ensemble des données géographiques de la plateforme. Ce module se connecte à distance aux différentes bases de données qui respectent les normes OGC. L'ensemble des flux (WMS, WFS, WMTS, WMS-T) sont optimisés permettant une navigation rapide malgré l'importance des masses de données qui circulent. Le module Qcarto permet de faire de la cartographie rapide à partir

d'un projet précédemment généré avec le module QeSIG. En quelques clics la carte est éditée, avec l'habillage, l'échelle, la légende et les sources de données puis envoyée directement à l'impression. C'est en couplant ces deux modules avec les données issues des satellites Pléiades (image, modèle numérique de surface, végétation littorale) en entrées du modèle d'estimation des zones soumises à l'aléa de submersion par tsunami ou vague de tempête que les équipes du Centre de Secours et d'Incendie de Yaté ont créé des cartes afin que les élus prennent les bonnes décisions lors des conseils municipaux (figure 13).



Figure 13 : Exploitation des données Pléiades du 13/07/2012 et du modèle numérique de surface pour l'analyse du risque de submersion du littoral pour les équipes du Centre de Secours et d'Incendie de Yaté, image de fond © CNES (2012) distribution Airbus DS/Spot Image.

Le module QAEP permet aux équipes municipales de maîtriser aisément l'information des réseaux d'Adduction d'Eau Potable et de croiser ces informations avec les données environnementales. Les fontainiers de la mairie de Yaté utilisent quotidiennement les données Pléiades pour la gestion de leurs réseaux et la prévision d'aménagements futurs. Les données Pléiades sont privilégiées ici car elles sont d'une grande précision et à jour, étant ainsi au plus proche de la réalité terrain.

Les Modules QeSIG3D et Qstereo sont des modules de visualisation du territoire en relief. Tout comme le module QeSIG, QeSIG3D se connecte à l'ensemble des flux interopérables aux normes OGC permettant de visualiser tout type de données. De plus, ce module se connecte à des modèles numériques de terrain distribués par flux WCS permettant ainsi de gérer l'altitude. Le module Qstereo permet à partir d'images stéréoscopiques ou tristéréoscopiques et de lunettes

3D de visualiser le terrain et de donner une nouvelle dimension à l'analyse spatiale.

4.3.2. Exploitation opérationnelle

L'exploitation opérationnelle des données satellitaires à très haute résolution en synergie avec des bases de données distribuées au sein du dispositif Qèhnelö™ a été démontrée lors de l'événement pluvieux des 2 et 3 juillet 2013. Lors de cet événement, un maximum de 714 mm de précipitations en 24 h ont été relevées sur la commune de Yaté, détrônant le précédent record datant de 1975 de précipitations enregistrées en 24 h (Météo Nouvelle-Calédonie, 2013). Ces précipitations ont entraîné un apport important de sédiments dans les baies du littoral et la mort de nombreux organismes marins (OEIL, 2013).

L'exploitation synergique des données satellitaires à très haute résolution au sein de Qèhnelö™ a fourni aux décideurs locaux un ensemble complet d'information afin de répondre à leurs questionnements : quel est l'étendue spatiale de l'impact dans les baies de l'apport d'eau turbide ? D'où proviennent les sédiments charriés par les rivières lors de cet événement ?

Une image Worldview-2, acquise le 5 juillet 2013, a été exploitée afin d'estimer la concentration en sédiments des baies du littoral de Yaté selon la méthode développée par (Ouillon S. et al., 2008 et 2010). Ce résultat a été couplé à l'estimation de la production sédimentaire en exploitant les données post événement Pléiades de juillet 2012 et les cumuls de précipitations fournis par Météo France Nouvelle-Calédonie au sein du modèle de production sédimentaire développé par l'Université de la Nouvelle-Calédonie et Bluecham SAS et disponible au sein de Qèhnelö™.

Les élus de la commune de Yaté ont ainsi eu accès, dans des délais très courts, aux premières observations des phénomènes érosifs et leurs résultats sur leur plateforme Qèhnelö™. Disponibles dans le *Cloud*, ces données ont notamment été exploitées lors des réunions de discussion entre les élus locaux, les représentants du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, de la Province Sud et de l'industriel minier exploitant les plateaux en bordure du littoral de Yaté (figure 14).



Figure 14 : Turbidité en Baie Kwé et production sédimentaire suite à l'événement pluvieux du 2 - 3 juillet 2013 mis à disposition des élus de la commune de Yaté par la plateforme Qèhnelö™, contient des données

Pléiades © CNES (2012) distribution Airbus DS/Spot Image.

5. Résultats et discussion

L'impératif de fournir la bonne information au bon moment nécessite de prendre en considération :

- la qualité des données sources ;
- la validation scientifique des modèles d'analyse proposés ;
- la simplicité d'accès aux informations.

Dans ce cadre, le potentiel des données Pléiades est prometteur. En effet, le modèle numérique de surface dérivé des triplets tristéréoscopiques possède une précision de 4,251 m +/- 0,996 m et un biais moyen inférieur à 50 cm en exploitant uniquement les paramètres d'acquisition du satellite. En ajoutant 7 points de contrôle terrain, le biais moyen est inférieur à 20 cm et la précision est de 0,839 m +/- 0,996 m. En outre, la corrélation r entre le modèle de surface créé et le modèle numérique de terrain Lidar de référence est de 0,998 pour les deux méthodes de traitement testées dans cette étude.

La capacité tristéréoscopique du système Pléiade apparaît ainsi déterminante puisque l'ajout de la topographie des objets de surface permet, pour l'identification des strates de mangroves notamment, de palier les contraintes de recouvrement spectral des bandes dans le domaine du visible et la résolution de 70 cm rééchantillonnée à 50 cm. En effet, la cartographie des types de mangroves résultante de l'adaptation de la méthodologie proposée par Marchand et al., (2013) avec l'ajout du modèle numérique de surface donne des résultats prometteurs. La mangrove de la Kwé Binyi est couverte à plus de 80 % par des *Rhizophora ssp.*, 12% de végétation mixte et autre et seulement 4% d'*avicennia* et 3% de tannes (figure 15). Ces résultats sont concordants avec ceux obtenus par (Marchand et Dumas, 2008).



Figure 15 : Cartographie de la mangrove de la Baie de Kwé Binyi à partir des données Pléiades du 13/07/2012, © CNES (2012) distribution Airbus DS/Spot Image..

Aussi, l'intégration des données satellitaires très haute résolution et de produits dérivés au sein du dispositif de *Geospatial Cloud Computing* permet à de nouveaux utilisateurs finaux d'accéder et de manipuler

l'information satellitaire afin de répondre à leur questionnement. Pour la commune de Yaté en Nouvelle-Calédonie, ces nouveaux utilisateurs sont (figure 16) :

- les personnels techniques des petites communes tels que les pompiers du centre de secours et d'incendie, les fontainiers ou les responsables techniques de la Mairie de Yaté;
- le conseil municipal, le maire et ces adjoints.



Figure 16 : Utilisation de Qêhnelö™ par les élus de la commune de Yaté en haut et au Centre de Secours et d'Incendie de la commune de Yaté en bas.

Comme l'explique R. Mapou, cinquième adjoint au maire de Yaté durant la mandature 2008 - 2014, "Pour être efficace, car les acteurs sont nombreux et les informations dispersées, il nous fallait maîtriser l'ensemble des informations relatives à notre territoire. La plateforme Qêhnelö du PEC Yaté est un moyen qui [...] permet [à la population de la commune de Yaté] d'avancer ensemble dans les directions qui sont les nôtres, un développement maîtrisé, respectueux des hommes, des traditions et de l'environnement. Elle nous permettra de suivre mois après mois, année après année notre évolution dans l'environnement naturel du grand sud, au contact d'un site industriel gigantesque et des impacts de la modernité et de la mondialisation, pour être en mesure dans la mesure du possible d'anticiper sur les impacts négatifs nombreux qui accompagnent ce type de développement."

Ainsi, les statistiques sur la plateforme Qêhnelö™ de la Mairie de Yaté montrent que les données satellitaires très haute résolution, dont les données Pléiades et l'ensemble des produits dérivés, sont les ressources les plus utilisées par ces nouveaux utilisateurs : en moyenne, un utilisateur de la plateforme Qêhnelö™ exploite les données Pléiades pour ses propres besoins deux fois par semaine.

Remerciements

Cet article a été réalisé dans le cadre du programme d'accompagnement ORFEO - Recette Thématique

utilisateurs des données Pléiades. Nous tenons ainsi à remercier Claire Tinel, Delphine Fontanaz, Benoît Boissin ainsi que toute l'équipe du projet ORFEO du CNES. Nous remercions également Airbus DS/Spot Image.

Nous remercions également INTERGRAPH New Zealand pour nous avoir offert la possibilité d'évaluer la solution eATE d'ERDAS 2014 avec les données Pléiades tristéréoscopiques. Enfin, nous remercions Jean-Daniel Cieslak et Jean-Michel N'Guyen de VALE NC de nous avoir permis d'utiliser leur modèle numérique de terrain à des fins de comparaison avec le modèle numérique de surface obtenu à l'aide des données Pléiades.

Références

Andreoli R., Marchand M., Léopold A., Tinel C., Fontanaz D. 2014a. "Mangroves Monitoring Using VHR Pléiades Data under Mining Constraints." In *Pléiades Days 1-3 April 2014*. Toulouse, France.

Andreoli R., Selmaoui-Folcher N., Maura J., Mougél P.-N., Tinel C., Fontanaz D. 2014b. "Spatial and Temporal Data Mining of Remote Sensing Data Applied to Erosion Process Discovery and Analysis." In *Pléiades Days 1-3 April 2014*. Toulouse, France.

Andreoli R., Yesou H., Maura J., Durand A., Vama A., Tinel C., Fontanaz D. 2014c. "VHR Pléiades Data in Support to Cyclone and Tsunami Risk Management for Local Communities through Geospatial Cloud Computing Platform." In *Pléiades Days 1-3 April 2014*. Toulouse, France.

Durand A., Andreoli R., Tinel C., Yesou H. 2013. "Multi-Strip DSM Generation with Pleiades-HR Data over a Coastal and Mountainous Mining Landscape Case Study : Yate, New Caledonia, France." In *33rd EARSeL Symposium*. Matera, Italy.

Lille D. 2007. *Qêhnelö™: Concept Du Geospatial Cloud Computing Environnemental - 1er Prix Au 9ème Concours National D'aide À La Création d'Entreprises Innovantes*. MESR, Paris, France.

Marchand C., Dumas P. 2008. *Typologies et biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie*. 1. *ZoNéCo Report*. Nouméa: IRD, UNC, DTSI, Sabrina Virly Consultant, ZoNéCo.

Marchand C., Quiniou T., Andreoli R. 2013. *Suivi des mangroves en contexte minier: mesures in situ / télédétection satellitaire optique et radar. Research report*. Nouméa: IRD, UNC, Bluecham SAS, Elecnor Deimos, CNES, LATUV, CNRT. http://pages.univ-nc.nc/~touraivane/docs/rapport_final_v20130423.pdf.

Météo Nouvelle-Calédonie. 2013. "Précipitations Orageuses Des 2 et 3 Juillet 2013." [Http://www.meteo.nc](http://www.meteo.nc). <http://www.meteo.nc/actualites/364-episode-pluvieux-debut-juillet-2013>.

Mimoura, N. 1999. "Vulnerability of Island Countries in the South Pacific to Sea Level Rise and Climate Change." *Clim Res Vol 12*.

OEIL. 2013. "Observations Des Baies Kwë et de Port Boisé Suite À La Découverte D'organismes Marins Morts Début Juillet 2013." <http://www2.oeil.nc/fr/actualit->

s/observations-des-baies-situ-es-proximit-de-vale-nouvelle-cal-donie-suite-la-d-couverte-d.

OGC. 2007. "Web Processing Service." <http://www.opengeospatial.org>.

OGC® WCS 2.0 Interface Standard- Core: 2012. OpenGIS® Standard OGC 09-110r4. OGC® Interface Standard. OGC.

Ouillon, S., Douillet P., Lefebvre J-P., Le Gendre R., Jouon A., Bonneton P., Fernandez J-M., et al. 2010. "Circulation and Suspended Sediment Transport in a Coral Reef Lagoon: The South-West Lagoon of New Caledonia." *Marine Pollution Bulletin* 61 (7–12): 269–96.

Ouillon S., Douillet P., Petrenko A., Neveux J., Dupouy C., Froidefond J-M., Andréfouët S., Muñoz-Caravaca A. 2008. "Optical Algorithms at Satellite Wavelengths for Total Suspended Matter in Tropical Coastal Waters." *Sensors* 8 (7): 4165–85.

Schowengerdt, R. A. 1997. *Remote Sensing, Models, and Methods for Image Processing*. 2nd ed. San Diego, Calif. [u.a.]: Academic Press.

Tinel C. 2014. "Feedback on Users Thematic Commissioning (applications & Methodology)." In *Pléiades Days*. Toulouse, France.