

# Formalisation des chaînes de traitements de données spatiales satellitaires sur la forêt à Madagascar

## Formalizing processing chains of satellite spatial data on Malagasy forest

A.R. HAJALALAINA<sup>1</sup>

D. HERVÉ<sup>2</sup>

J.P. RAZAFIMANDIMBY<sup>3</sup>

E. DELAÎTRE<sup>4</sup>

J.C. DESCONNETS<sup>4</sup>

T. LIBOUREL<sup>4,5</sup>

(1) Centre Universitaire de Formation Professionnalisante, BP 1135, Université de Fianarantsoa 301, Madagascar

(2) Institut de Recherche pour le Développement (IRD, UMR 220 GRED), BP 64501, 34394 Montpellier, France

(3) Ecole Nationale d'Informatique, Université de Fianarantsoa, BP 1484, Fianarantsoa 301, Madagascar

(4) Institut de Recherche pour le Développement (IRD, UMR 228 Espace Dev), 500 rue JF Breton 34093 Montpellier, France

(5) LIRMM, 161 rue Ada Université de Montpellier II, Montpellier, France

### Résumé

A Madagascar, la déforestation mobilise toutes les recherches, mais il manque encore une base de données complète, référencée et réactualisable sur les dynamiques forestières. Une solution est la valorisation d'images satellitaires multitudes qui, de ce fait, sont issues de capteurs différents en termes de résolution spatiale, radiométrique et temporelle (Spot, Landsat, Modis). Ces données géolocalisées sont volumineuses, elles doivent être normalisées puis stockées et finalement traitées. Face à l'hétérogénéité des données et traitements, l'interopérabilité des ressources est assurée par le standard ISO (International Standard Organisation) et la spécification OGC (Open Geospatial Consortium). Le traitement de séries chronologiques de la couverture forestière exige un outil réutilisable qui s'adapte à de nouvelles données satellitaires : des chaînes de traitement pour les données simples, des workflows pour les gros volumes de données. La modélisation du workflow est illustrée par la construction de sa base de connaissance en utilisant un contexte de travail.

**Mots-clés :** contexte de travail, forêt, imagerie satellitaire, Madagascar, modélisation, workflow

## Abstract

In Madagascar, deforestation mobilizes all the research, but it still lacks a comprehensive database, referenced and updateable on forest dynamics. One solution is the analysis of multi-temporal satellite images, which come from different sensors in terms of spatial resolution, radiometric and temporal (Spot, Landsat, Modis). These data are geolocalised and voluminous, they should be standardized, stored and finally processed. Facing the heterogeneity of data and processing, interoperability of resources is ensured by the standard ISO (International Standard Organization) and the OGC specification (Open Geospatial Consortium). Processing time series of forest cover requires a reusable tool that adapts to new satellite data: processing chains for simple data, workflows for large volume of data. Modeling workflow is illustrated by the construction of its knowledge base using a work context.

**Key words:** work context, forest, satellite image, Madagascar, modeling, workflow

## Introduction

Nos préoccupations s'inscrivent dans l'application de l'informatique dans différents domaines des sciences expérimentales liées à l'environnement. Les scientifiques dans ces domaines émettent des hypothèses qu'ils valident à partir de protocoles expérimentaux. Actuellement, les informaticiens et les scientifiques travaillent ensemble pour automatiser ces protocoles. Cette automatisation soulève de nombreux problèmes dus d'une part aux volumes des données provenant de différentes sources d'observation telles que les satellites, les capteurs, et d'autre part à la prolifération des traitements plus ou moins complexes exigés par les sciences de l'environnement.

Une antenne de réception de satellites dédiés à l'observation de la terre et de l'environnement couvre depuis La Réunion l'ensemble de l'océan indien (SEAS-OI), c'est-à-dire toutes les îles de l'Océan Indien et une partie Est de la côte Est africaine. Il est attendu de cette antenne un nombre considérable d'images de télédétection, hétérogènes du fait de différents capteurs. Dans ce contexte, il est indispensable de mettre en place des systèmes permettant de stocker et de gérer des flux importants de données, en tenant compte de l'origine diverse des données spatio-temporelles et de l'organisation, la restitution, et l'échange de ces informations qui posent un vrai défi en terme d'interopérabilité.

De nombreux travaux de recherche ont été publiés sur la thématique forestière à Madagascar, qui ont contribué à améliorer les connaissances sur la dynamique des forêts, mais une formalisation des données et des traitements est nécessaire pour assurer une plus large diffusion des résultats de ces travaux dans la communauté scientifique malgache.

La formalisation des données et des traitements se fait dans un « contexte de travail » acquis par la plateforme MDWeb (Desconnets *et al.*, 2007). Cette plateforme propose une vision de l'organisation des ressources humaines ; elle permet à l'administrateur de la plateforme de référencer les futurs utilisateurs à partir des rôles et des droits prédéfinis, et de référencer les ressources (données / traitements) au sein d'une base de métadonnées.

Nous proposons d'utiliser cette formalisation pour coordonner le recueil de données spatio-temporelles, existantes auprès de différentes institutions, nécessaires à l'analyse des processus permettant le suivi des forêts. L'objectif est de capitaliser, harmoniser et diffuser les ressources permettant une meilleure compréhension de la dynamique des forêts à différentes échelles (locale, nationale et régionale). Il s'inscrit dans plusieurs actions réalisables à différentes échéances :

- à court terme, la formalisation des ressources pour assurer leur partage, leur réutilisation et leur interopérabilité ;
- à moyen terme, la mise en place d'une plateforme de partage et mutualisation des données spatiales ;
- à plus long terme, la mise en place d'un observatoire des données spatiales pour Madagascar.

Nous avons d'abord collecté les normes et formalisations en vigueur des données et traitements spatiaux, puis proposé des modèles de contexte de travail pour la formalisation des ressources sur la thématique forêt.

## Formalisation des ressources

Afin que les ressources (données/traitements) puissent être publiées et échangées dans des conditions permettant leur consultation et leur utilisation, il est nécessaire d'assurer l'interopérabilité de ces ressources en respectant les standards et normes en vigueur.

La formalisation correspond à la description des ressources (Données/Traitements) utilisées par une chaîne de traitement. Elle est de l'ordre de la métadonnée. Divers formalismes respectant les normes en vigueur traitent d'aspects syntaxique et sémantique pour les métadonnées. La définition et la mise en œuvre de ces normes permet de résoudre l'hétérogénéité des ressources utilisées. Comme les données que nous traitons sont géoréférencées, nous nous limitons aux normes concernant les informations géographiques.

### NORMES EN VIGUEUR CONCERNANT LA DESCRIPTION DES RESSOURCES

#### Métadonnées

Les métadonnées sont l'ensemble des informations décrivant une donnée, une série de données (lot de données), un traitement, une chaîne de traitement ou plus globalement une ressource. Elles se composent d'éléments relatifs à l'identification, la représentation spatiale, la qualité, le contenu, les modalités d'accès et de diffusion. En fonction de l'exigence attendue, différents niveaux de précision sont distingués (Fraisse & Pornon, 2008) :

- les métadonnées de découverte qui permettent d'identifier les données ;
- les métadonnées d'exploration qui caractérisent avec plus de détails les données disponibles et permettent d'estimer leur utilité dans le cadre d'un projet ;
- les métadonnées d'exploitation qui apportent l'ensemble des informations nécessaires pour intégrer les données et les utiliser, par exemple, dans un Système d'Information Géographique (SIG).

Le stockage des métadonnées concernant l'information géographique respectera la norme ISO19115 qui est complexe, mais par ailleurs extensible et modulaire. Pour l'échange des métadonnées, c'est la norme ISO19139 qui fait référence. Elle traduit la norme ISO19115 au format XML (eXtended Markup Language) pour permettre une standardisation et l'interopérabilité des systèmes en vue d'échanger et mutualiser les métadonnées.

#### Formalismes des descriptions de données

Pour la formalisation des données, Dublin Core et ISO19115 sont les deux normes en vigueur les plus utilisées. D'une manière générale, la structuration des métadonnées et des normes obéit à des schémas

hiérarchisés plus ou moins complexes (Barde *et al.*, 2005). Dublin Core (BnF, 2008 ; Vercoustre, 2002) et fait partie des standards de bases pour créer les métadonnées de ressources, particulièrement numériques et physiques. La description des ressources est structurée en trois grandes catégories : contenu, propriété intellectuelle, instanciation. Pour décrire des ressources relevant de domaines plus spécifiques, on enrichit et on affine le noyau de Dublin Core. C'est notamment le cas de divers standards ISO dont celui dédié aux données géoréférencées ISO19115 (ISO19115, 2003), qui stratifie les éléments de métadonnées en 12 rubriques principales. Une rubrique spécifique est dédiée à la qualité, et elle rend compte du contexte dans lequel la ressource a été produite, en offrant l'opportunité de décrire sa généalogie. Cet élément généalogie réalise ainsi un pont avec la description des traitements (ISO19119). Trois rubriques servent uniquement à la description des ressources de type information géographique (Barde *et al.*, 2005).

### Formalismes de descriptions des traitements

En ce qui concerne la description des traitements, la difficulté majeure réside dans le fait que les descriptions des traitements peuvent avoir de nombreux usagers liés à la variété des publics concernés (concepteurs, développeurs, utilisateurs finaux). En ce qui nous concerne, les descriptions des traitements sont destinées à un utilisateur scientifique (environnementaliste, forestier) qui n'est a priori ni concepteur, ni développeur. Pour établir les protocoles expérimentaux, l'utilisateur scientifique doit juste trouver le traitement le plus en adéquation avec son expertise et l'objectif qu'il s'est fixé.

Plusieurs normes sont liées aux composants décrivant les traitements comme des composants avec leurs paramètres d'entrée et sortie, et détaillent leur composition lorsqu'ils sont complexes. Mais nous déclinons notre proposition vers la norme ISO 19119 (ISO19119, 2005) qui tient compte des informations géographiques pour décrire les traitements. En plus les deux normes ISO 19115 et ISO 19119 sont corrélées via la notion de *lineage* ou *généalogie* qui doit détailler pour les données transformées la chaîne de traitements qui leur a donné naissance.

## WORKFLOW SCIENTIFIQUE

Dans le cas de gros volumes de données à traiter, nous abordons la chaîne de traitement avec un workflow. Le workflow scientifique est une variante de workflow qui est dédiée aux domaines de la science expérimentale comme dans notre cas.

Selon la définition terminologique de l'organisation WfMC (Workflow Management Coalition), *un environnement workflow est un système, qui définit, crée et gère l'exécution des workflows sur un ou plusieurs moteurs de workflow, à travers l'utilisation d'applications. Ces moteurs de workflow sont capables d'interpréter la définition du processus workflow, d'interagir entre les participants de workflow, de demander et d'invoquer l'usage des outils et applications informatiques* (Wfmc, 2008). Cette définition est très générale, mais selon Lin (2011), les trois fonctionnalités principales d'un système de workflow correspondent à la définition, à la création et à l'exécution de chaînes de traitements. Spécifiquement, le workflow scientifique est un système dédié à la représentation et à la réalisation de chaînes de traitements scientifiques.

Les communautés scientifiques travaillant dans le domaine des forêts et de l'environnement pourront utiliser le système de workflow pour formuler, capitaliser et réutiliser des chaînes de traitements qui correspondent à leurs besoins, en valorisant les représentations sémantiques issues de la connaissance des scientifiques sur la dynamique des forêts. Libourel *et al.* (2010) décrivent les trois étapes du processus (Figure 1) :

- La **planification** est fortement liée aux données sources, aux résultats visés et à l'expertise du scientifique. On formule l'hypothèse que le scientifique peut, lors de cette étape, définir de manière abstraite la chaîne de traitements envisagée. La vision abstraite est d'autant plus pertinente qu'elle peut être mémorisée à des fins de partage avec les communautés concernées ou de réutilisation dans

des chaînes de traitements plus complexes. L'expertise propre à chaque communauté va jouer un rôle important.

- **L'instanciation** : cette étape consiste à identifier et sélectionner les divers éléments nécessaires à la réalisation de la chaîne de traitements. Ces éléments seront accédés par localisation et via leur représentation sémantique. Ici aussi, l'expertise des communautés concernées sera directement exploitée.
- **L'exécution** dépendra des types de ressources réelles disponibles (moteur de workflow, machine isolée ou cluster de machines, grille de calcul, etc.).

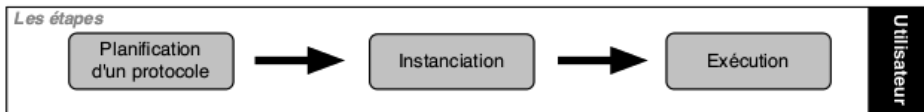


Figure 1 : Point de vue métier (Libourel *et al.*, 2010)

## Contexte de travail

L'OMG (Object management Group) propose divers standards de réalisation de workflow, tels que UML (Unified Modeling Language), SPEM (Software & Systems Process Engineering Metamodel), BPMN (Business Process Model Notation). D'autres standards sont plus spécifiques d'un workflow scientifique, comme KEPLER, CIMFlow, mais ils restent trop généralistes et se présentent soit sous forme de métamodèles, soit sous forme de standards de notation relatifs aux éléments constitutifs, nécessaires à la définition du workflow (Lin *et al.*, 2008).

Le contexte de travail est étroitement lié à un domaine d'expertise. On peut donc envisager que celui-ci est construit, par consensus, par les experts du domaine. Chaque scientifique (utilisateur final) aura à sa disposition ce contexte qu'il pourra enrichir à son tour. La construction de tout contexte de travail correspond à l'organisation progressive des références des données et traitements utiles, selon trois étapes : organisation des ressources humaines, organisation des données et organisation des traitements.

Le contexte de travail est inspiré de la plateforme MDWeb : proposer une vision organisation des ressources humaines, qui permet à l'administrateur de la plateforme de référencer les futurs utilisateurs à partir des rôles et des droits prédéfinis, et une vision de référencement des ressources (données / traitements) au sein d'une base de métadonnées (Figure 2).

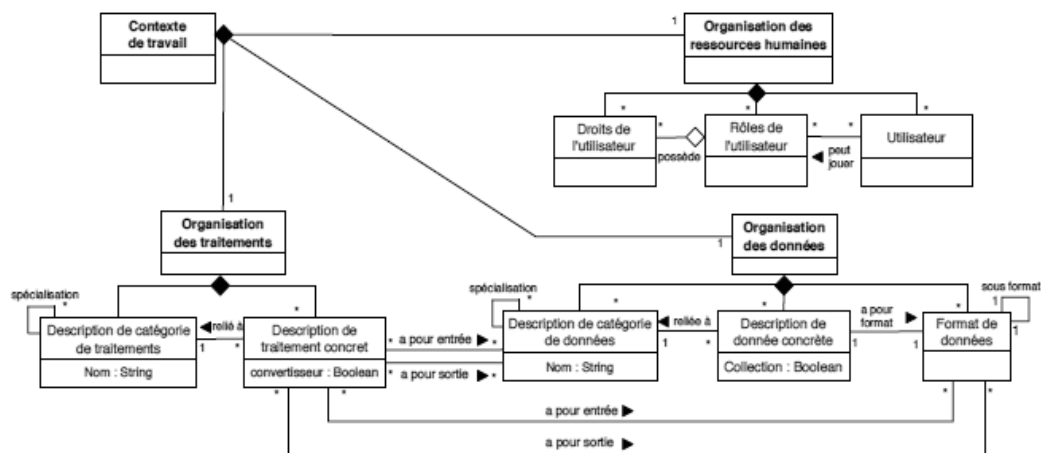


Figure 2 : Méta modèle de contexte de travail (Lin, 2011)

Le contexte de travail est étroitement lié à un domaine d’expertise, construit, par consensus, par les experts du domaine. Chaque scientifique aura, comme utilisateur final, ce contexte à sa disposition, et qu’il pourra enrichir à son tour. La construction de tout contexte de travail correspond à l’organisation progressive des références des données et traitements utiles.

Il s’agit de construire un environnement dans lequel les chaînes de traitements peuvent invoquer des services web comme WPS (Web Processing Service), ou des bibliothèques comme OTB (Orfeo ToolBox). La valorisation de l’expertise des scientifiques passe par une description complète des ressources intégrant les aspects syntaxique et sémantique et la possibilité de pré-contrôle avant exécution permettant au scientifique de vérifier la validité de son protocole concret, tout en lui donnant une latitude de choix (Lin, 2011). En plus, même si cette approche n’est pas encore standardisée, elle utilise un langage symbolique graphique relativement simple, nommé *SWM* (Simple Workflow Model), qui permet aux scientifiques utilisateurs de manipuler dans un langage simple des concepts d’appropriation facile (Lin *et al.*, 2008). Les formalismes de SWM sont montrés dans la figure 3.



Figure 3 : Formalismes graphiques de SWM (Lin *et al.*, 2008)

Ce contexte de travail est composé de trois grandes organisations de description de ressources (Libourel *et al.*, 2010) :

- organisation des ressources humaines, qui gère la description des utilisateurs de la plateforme ainsi que celles de leurs différents rôles et droits d’accès associés ;
- organisation des données, qui gère la description des catégories de données, des données concrètes et des divers formats de données associés ;
- organisation des traitements, qui gère la description des catégories de traitements et des traitements concrets.

## PROPOSITION DE MODELES

### Proposition d'organisation des ressources humaines

Nous proposons une organisation des ressources humaines en identifiant les différents acteurs qui interagissent directement avec les ressources, qu'elles soient des données ou des traitements (Figure 4) :

- ◆ *Les administrateurs* gèrent l'accès, la mise à la disposition des utilisateurs finaux des ressources d'observation des forêts. Ce pourrait être le rôle du Comité National de Télédétection (CNT) à Madagascar.
- ◆ *Les experts du domaine* proposent les protocoles pour la mise en œuvre des traitements expérimentaux et construisent le contexte de travail pour l'observation des forêts. Ce sont des télédéTECTEURS et des environnementalistes malgaches.
- ◆ *Les producteurs de ressources* fournissent les données et ceux qui mettent en œuvre les traitements d'observation des forêts. Ils enrichissent ainsi le contexte de travail pour l'observation des forêts. Les fournisseurs d'image satellitaire sont identifiés pour Madagascar : le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) qui est l'agence spatiale française, la station de réception SEAS-OI de la Réunion, le FTM (Foibe Taotsaritanin'i Madagasikara) qui est l'institut géographique national malgache, l'agence spatiale européenne, etc.
- ◆ *Les développeurs* mettent en œuvre les traitements d'images satellitaires d'observation des forêts. ils doivent enrichir le contexte de travail pour l'observation des forêts suite à leurs développements. Ils sont identifiés par les chercheurs malgache et/ou étranger œuvrant dans ce domaine.
- ◆ *Les utilisateurs* peuvent construire les modèles abstraits de workflow pour l'observation des forêts, puis les instancier en cherchant et localisant des descriptions de ressources réelles. Cela est réalisé par le moteur de recherche intégré dans la plateforme qui s'appuie sur les bases de connaissance du contexte de travail ainsi construit. Ces utilisateurs sont identifiés généralement, à Madagascar, par les décideurs et les chercheurs œuvrant dans différents secteurs.

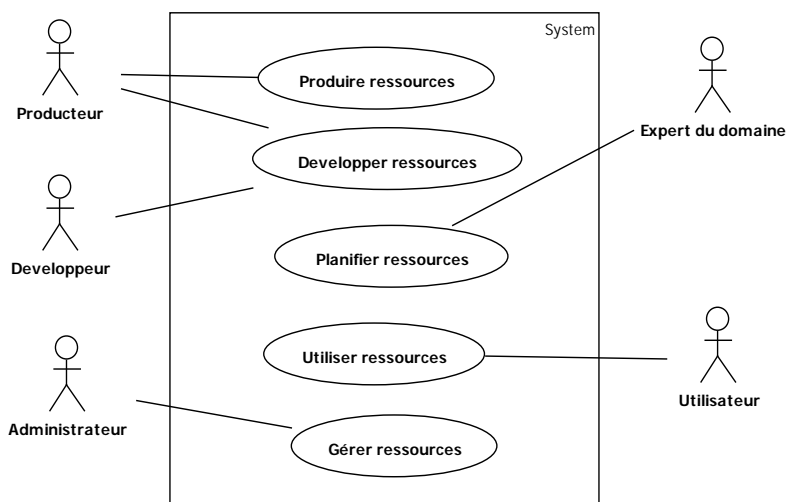


Figure 4 : Proposition d'organisation des ressources humaines

### Proposition d'organisation des données

L'observation des forêts à partir des images satellites utilise des données d'observation, des données brutes issues des capteurs embarqués à bord des satellites, des données intermédiaires issues des prétraitements et des données finales accessibles par les utilisateurs (Figure 5). Si ces catégories de données sont hiérarchisées, l'observation des forêts pourrait se décomposer en trois grandes catégories :

- Les données brutes d'observation des forêts, représentées par *DonneesBrutesObservationForets* dans la figure 5, regroupent les données livrées par les producteurs, généralement des images satellitaires brutes, qui n'ont subi aucun traitement préalable. Parmi ces données sont celles qui viennent des capteurs des satellites d'observation de la terre.
- Les données intermédiaires d'observation des forêts, représentées par *DonneesIntermediairesObservationForets* dans la figure 5, regroupent les données et les images satellitaires qui ont subi des traitements mais non encore exploités. Ces données et images nécessitent des post-traitements avant qu'ils soient exploitables par les utilisateurs finaux pour observer les phénomènes concernant les forêts.
- Les données finales, représentées par *DonneesFinalesObservationForets* dans la figure 5, regroupent les données et images satellites traitées utilisables et exploitables par les utilisateurs finaux pour l'analyse et l'interprétation des dynamiques forestières.

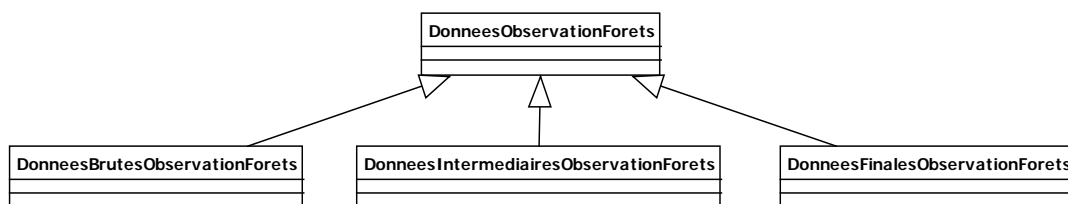


Figure 5 : Proposition d'organisation des données d'observation des forêts

### Proposition d'organisation des traitements

Notre expérience des chaînes de traitements d'images satellitaires (Hajalalaina *et al.*, 2013), sur la forêt humide malgache, nous conduit à établir une hiérarchisation des traitements, similaire à celle des données, selon trois grandes catégories de traitements :

- ◆ Les prétraitements des données d'observation des forêts regroupent les traitements des données et images satellites d'observation brutes livrées par les producteurs (Figure T1);
- ◆ Les traitements intermédiaires des données d'observation des forêts regroupent les traitements dont les données et images en sorties ne sont pas encore exploitables ou analysables par les utilisateurs finaux (Figure U1);
- ◆ Les traitements finaux des données d'observation des forêts regroupent les traitements dont les données et images en sorties sont directement utilisables par les utilisateurs finaux pour l'interprétation des dynamiques forestières (Figure V1).



Les figures T1, U1 et V1 du Carnet central présentent les graphes de ressources issues du contexte de travail c'est-à-dire les relations entre données et traitements du domaine d'étude, l'observation des forêts.

## MODELES ABSTRAITS D'OBSERVATION DES FORETS

Tout modèle abstrait d'observation de forêt peut alors être instancié en s'appuyant sur le contexte de travail construit ci-dessus. Le modèle abstrait représente la planification des suites de tâches proposées par les scientifiques télédéTECTEURS dans l'objectif d'observer les changements au niveau des objets d'une image représentant des forêts.

### Modèle abstrait de prétraitement

Le modèle abstrait (Figure 6) représente la planification d'une chaîne de prétraitement de deux images satellitaires brutes multispectrale et panchromatique. Cette chaîne commence par la correction radiométrique de l'image multispectrale et les corrections géométriques des deux images. Ces deux images sont superposées pour pouvoir ensuite les fusionner, afin d'exploiter les avantages offerts par chacune d'entre elles. L'image multispectrale offre une meilleure résolution radiométrique très utile à la classification radiométrique des forêts tandis que l'image panchromatique offre une meilleure résolution spatiale pour discriminer la nature et la forme des objets de la surface étudiée.

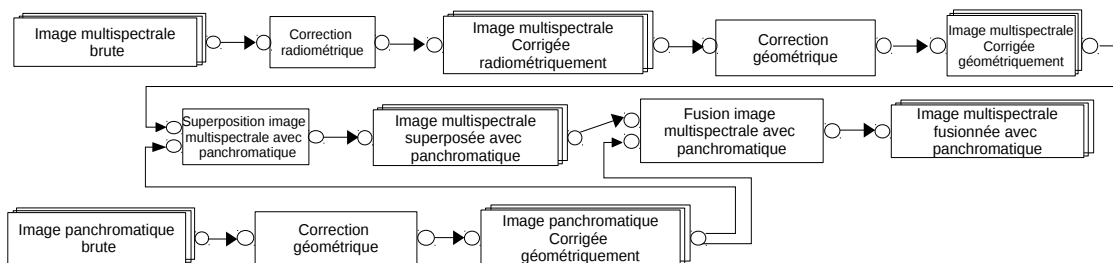


Figure 6 : Chaîne abstraite de prétraitement d'image satellitaire

### Modèle abstrait de classification par pixel ou orienté objet

A partir de l'image fusionnée, nous proposons un modèle abstrait de classification par pixel (Figure 7a). Ce modèle est planifié pour les images à haute résolution issues des capteurs HRVIR du satellite Spot, des capteurs à très haute résolution comme le HRG du satellite Spot5 et/ou de ETM+ du satellite Landsat 7.

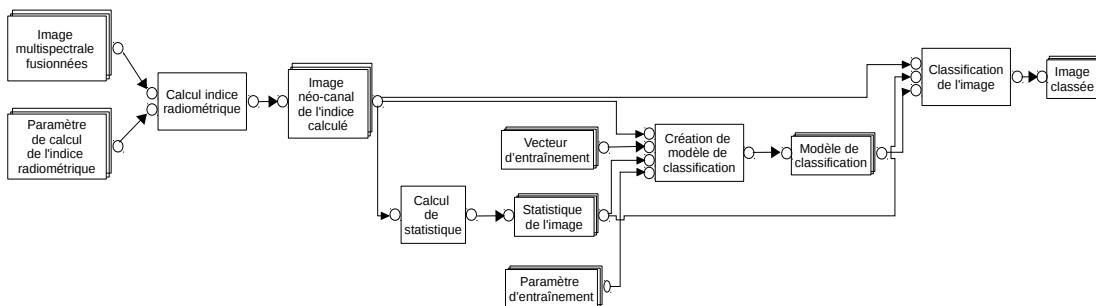


Figure 7a : Chaîne abstraite de classification par pixel d'image satellitaire

Ces capteurs, qui ont une très haute résolution temporelle, donnent des images sur la dynamique de changement des objets. En plus, nous utilisons l'indice radiométrique NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pour discriminer les zones forestières. En s'appuyant sur l'indice de végétation, la classification orientée objet segmente les pixels de l'image sous forme d'objets selon la valeur des pixels dans le néocanal NDVI, leur forme et leur texture (Figure 7b).

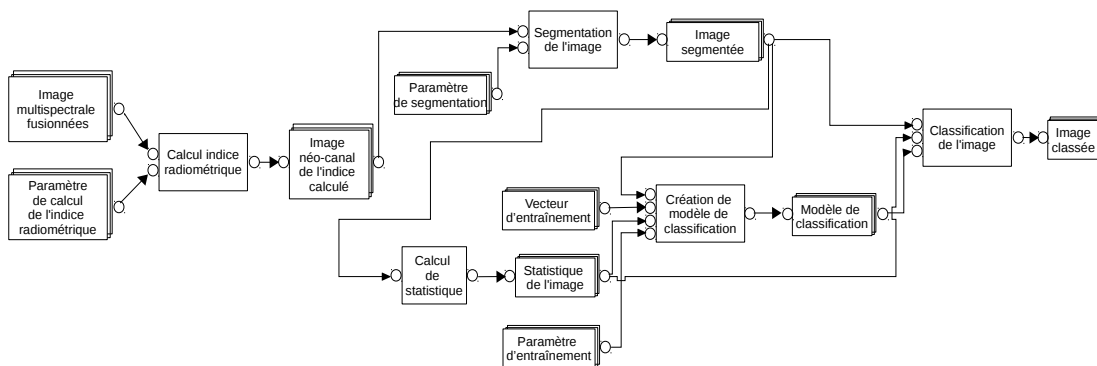


Figure 7b : Chaîne abstraite de classification orientée objet d'image satellitaire

### Modèle abstrait de détection de changement

La détection de changement s'effectue en analysant le changement entre deux dates des pixels issus des deux images satellitaires. Ce modèle utilise une image classée d'une image à haute résolution et une image classée d'une image à très haute résolution. Les images anciennes sont souvent à haute résolution tandis que les images récentes sont souvent à très haute résolution. Pour les rendre comparables, on recherche le modèle abstrait de classification le mieux adapté est appliqué. Une fois que les images sont classées, c'est-à-dire de même caractéristique, elles sont comparables en utilisant le modèle de détection de changement (Figure 8).

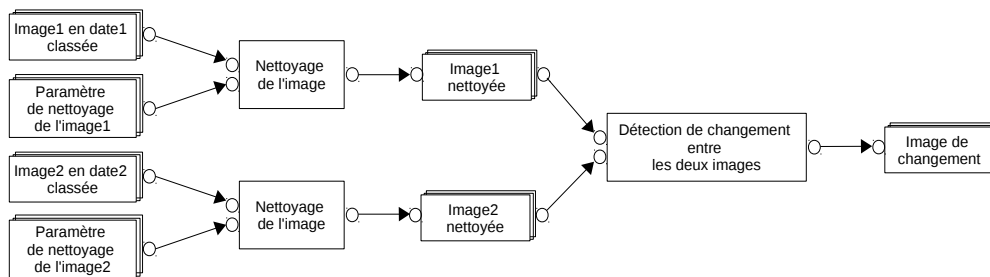


Figure 8 : Chaîne abstraite de détection de changement entre deux images satellitaires

### MODELES CONCRETS D'OBSERVATION DES FORETS

Pour mettre en œuvre les modèles abstraits ainsi définis précédemment, nous avons besoin d'établir les modèles concrets correspondant en décrivant les vraies données et les vrais traitements à utiliser. Nous rappelons que nous utilisons les ressources décrites dans le contexte de travail pour établir ce modèle. En plus, nous utilisons les modules de traitement d'image de OTB (OTB, 2014) pour la description des traitements.

## Modèle concret de prétraitement d'image satellite

Le modèle concret de prétraitement d'image satellite (Figure 9) commence par la correction radiométrique en utilisant le module *OpticalCalibration*. Ensuite pour corriger géométriquement les images multispectrale et panchromatique, nous faisons appel au module *Orthorectification*. La superposition se fait avec *Superimpose* avant de faire appel à *Pansharpening* pour la fusion. Dans notre modèle, nous prenons un exemple deux images multispectrale et panchromatique du capteur HRVIR du satellite Spot 4.

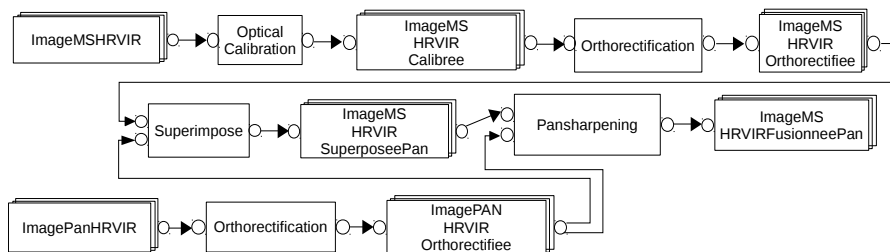


Figure 9 : Chaîne concrète de prétraitement d'image satellite

## Modèle concret de classification par pixel

Le modèle concret de classification par pixel met en évidence le calcul de l'indice radiométrique NDVI pour la discrimination des forêts (Figure 10). La zone forestière est caractérisée par une plage de valeur de cet indice. Pour cela le module *RadiometricIndices* est utilisé. Ensuite, la chaîne de classification se fait à partir de l'image néocanal NDVI ainsi calculée. La classification débute par le calcul de statistique de l'image NDVI par le module *ComputeImageStatistics* suivi de la création du modèle de classification par *TrainImagesClassifier*. La classification proprement dite est réalisée avec *ImageClassifier*. Dans notre modèle, nous prenons une image fusionnée du capteur HRVIR à haute résolution du satellite Spot4.

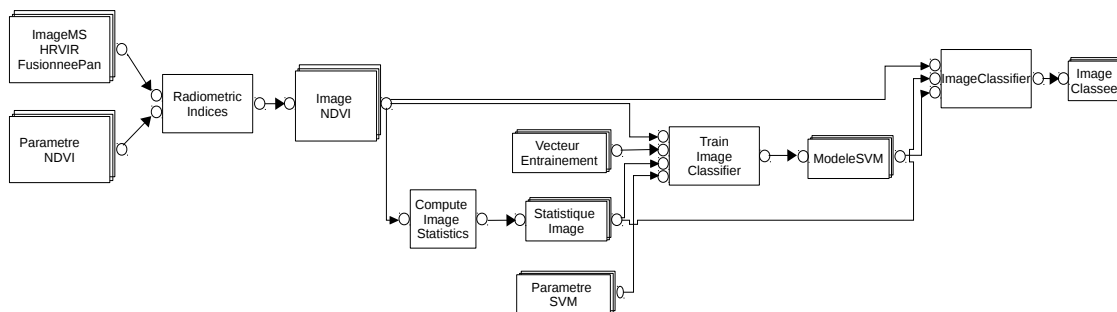


Figure 10 : Chaîne concrète de classification par pixel d'image satellite

## Modèle concret de classification orientée objet

Pour établir le modèle de classification orientée objet, nous procédons de la même façon que le modèle de classification pixel. Mais la seule différence réside dans la segmentation de l'image NDVI du fait que nous utilisons une image à très haute résolution. Nous prenons un exemple d'une image du capteur HRG à très haute résolution du satellite Spot 5 (Figure 11).

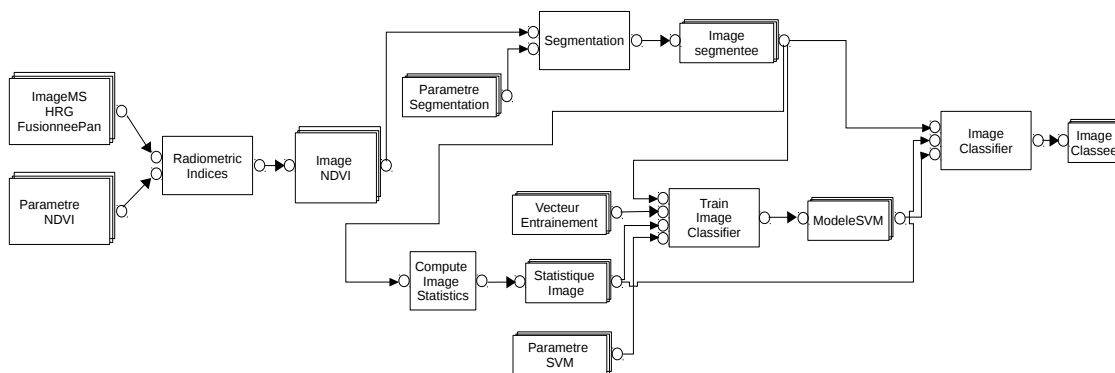


Figure 11 : Chaîne concrète de classification orientée objet d'image satellitaire

### Modèle concret de détection de changement

Le modèle de détection de changement (Figure 12) est le plus important parmi les modèles concrets que nous avons établis. Le suivi de la déforestation est assuré par le module de détection de changement *MultivariateAnternationDetection* en comparant deux images classées réalisées par les deux classifications présentées précédemment. Mais avant la réalisation de la détection de changement, il faut procéder au nettoyage de l'image classée par le module *ClassificationMapRegularization*.

En utilisant l'éditeur workflow mis en œuvre par Lin en 2011, les modèles concrets (figures 9, 10, 11, 12) sont générés au format XML. Ces fichiers sont utilisables avec les outils de partage et d'exécution des chaînes de traitements respectant les normes ISO sur la formalisation des ressources.

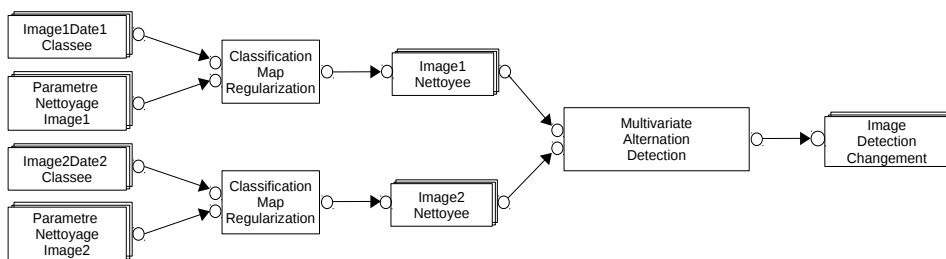


Figure 12 : Chaîne concrète de détection de changement entre deux images satellitaires

## Conclusion et perspectives

Les ressources existantes pour faire face à la dégradation des forêts à Madagascar peuvent être partagées et mutualisées. La proposition de formalisation des ressources pour leur partage est l'une des techniques efficaces pour mener à bien des analyses et localisation de zones dans lesquelles le phénomène de la déforestation s'aggrave.

L'analyse se focalise sur l'utilisation de l'indice de végétation NDVI sur les images satellitaires multispectrales issues des capteurs des satellites Spot et Landsat pour discriminer les zones forestières. Ce traitement est assuré par les modèles concrets de classification des images satellitaires. La fonctionnalité la plus importante pour le suivi de la dynamique forestière est la détection de changement

entre les images de deux dates.

Notre travail se limite à la formalisation et à la construction d'une base de connaissance des ressources basée sur le contexte de travail. Ce dernier présente l'avantage de pouvoir être enrichi par des nouvelles ressources récemment produites. Cela permet d'intégrer de nouvelles images satellitaires et des méthodes récentes de traitement à des fins d'analyse de la dynamique des forêts à Madagascar.

L'intégration des ressources ainsi formalisées rend les ressources interopérables, ce qui donne la possibilité d'intégrer facilement ces ressources dans les outils MDWeb pour le partage et mutualisation et WPS pour l'exécution. Le MDWeb est une solution simple et prête à l'emploi pour déployer une infrastructure de données spatiales, interopérable, qui est basée sur les standards ISO/OGC (OGC, 2012) et qui répond à la directive de l'union européenne INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community). MDweb est un outil de catalogage et de localisation de ressources (données, documents), générique et open source, accessible sur le web (Desconnets *et al.*, 2007).

D'un point de vue fonctionnel, MDweb a pour objectif de coupler le point de vue du producteur des ressources et d'y associer la capacité de leur description, avec celui de l'utilisateur final (consommateur) qui souhaite localiser et accéder aux ressources. Pour cela, MDweb propose deux grandes fonctionnalités : le catalogage liée à la gestion des métadonnées et la localisation dédiée à de la recherche des ressources. Le moteur de recherche MDWeb offre aux utilisateurs des possibilités de requêtes basées sur divers critères : Quoi, Quand, Où, Qui et Quelle catégorie de ressources ?

Pour l'exécution des chaînes de traitements via le web, nous proposons le serveur de service web WPS (Web Processing Services), standard de l'OGC depuis 2005 (OGC, 2012). La spécification du WPS se présente sous la forme d'une interface générique permettant de décrire et d'exécuter des chaînes de traitements des données spatiales, notamment des images satellitaires (Machet *et al.*, 2008 ; Eberle & Strobl, 2012) que nous avons produites dans ce travail. Le WPS est basé sur le protocole HTTP et le langage XML. Les chaînes de traitements présentées dans les figures 9, 10, 11, 12 sont converties en fichier XML puis intégrées dans WPS pour exécution.

## Références bibliographiques

Barde J., Libourel T., Maurel P., 2005 : « A Metadata Service for Integrated Management of Knowledges Related to Coastal Areas ». *Multimedia Tools Appl.*, vol.25(3) : p. 419-429.

BnF, 2008 : *Guide d'utilisation du Dublin Core (DC) à la BnF : Dublin Core simple et Dublin Core qualifié, avec indications pour utiliser le profil d'application de TEL, Version 2.0*. Bibliothèque nationale de France / Direction des Services et des Réseaux / Département de l'Information bibliographique et numérique [En ligne], [http://www.bnf.fr/documents/guide\\_dublin\\_core\\_bnf\\_2008.pdf](http://www.bnf.fr/documents/guide_dublin_core_bnf_2008.pdf).

Desconnets J.-C., Libourel T., Clerc S., Granouillac B., 2007 : *Cataloguing for distribution of environmental resources*. 10th AGILE, International Conference on Geographic Information Science, Aalborg University, Danemark, 12 p.

Eberle J., Strobl C., 2012 : « WEB-Based Geoprocessing and Workflow Creation for Generating and Providing Remote Sensing Products ». *Geomatica*, 66(1) : p. 13-26.

Fraisse S., Pornon H., 2008 : « Les métadonnées : corvée ou nécessité ? ». *Géomatique Expert*, 63 : p. 29-35.

Hajalalaina A.R., Grizonnet M., Delaître E., Rakotondraompiana S., Hervé D., 2013 : « Discrimination des zones humides en forêt malgache, proposition d'une méthodologie multirésolution et multisource utilisant ORFEO toolbox ». *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 201 : p. 37-48.

ISO19115, 2003 : *Geographic Information Metadata, ISO 19115*. International Organization for Standardization (ISO), Genève, Suisse.

ISO19119, 2005. *Geographic Information Service, ISO 19119*. International Organization for Standardization (ISO), Genève, Suisse.

Libourel T., Lin Y., Mougenot I., Pierkot C., 2010 : « A platform dedicated to share and mutualize environmental applications », dans J. Filipe, J. Cordeiro J. (eds.), *Proceedings of the 12th international conference on enterprise systems*. ICEIS, International Conference on Enterprise Systems, 12, Madere Funchal, 8-12 juin 2010. Setubal : SciTePress : p. 50-57.

Lin Y., 2011 : *Méthodologie et composants pour la mise en œuvre de workflows scientifiques*. Thèse de doctorat Structure et Système, Ecole doctorale Information, Université de Montpellier 2 (France), 192 p.

Lin Y., Mougenot I., Libourel T., 2008 : *Un nouveau langage de workflow pour les sciences expérimentales*. INFORSID'08 : Atelier ERTSI Evolution, Réutilisation et Traçabilité des Systèmes d'Information. Fontainebleau, France, p. 1-15.

Machet E., Kamhi M., Jacquin M., Le Page M., Dejoux J.-F., Dedieu G., 2008 : « Web Processing Service pour le traitement des images satellite », dans S. Randriamanga, S. Rakotoniaina, Y. Auda, S. Rakotondraompiana, J.-P. Gastellu-Etchegorry (eds.), *Téledétection et Gestion de l'Environnement*. Les XI<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques du Réseau Téledétection de l'AUF, 03 au 07 novembre 2008 Antananarivo (Madagascar) : p. 51-52.

OGC, 2012 : *Web Processing Service 2.0 Standard Working Group* [En ligne], <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/wps2.Oswg>.

OTB, 2014 : *The ORFEO Tool Box Software Guide Updated for OTB-4.3*. [En ligne], <http://www.orfeo-toolbox.org>.

Vercoustre A.-M., 2002 : *Éléments de métadonnées du Dublin Core. Version 1.1 : Description de référence* [En ligne], <https://who.rocq.inria.fr/Anne-Marie.Vercoustre/METADATA/DC-fr.1.1.html>. INRIA.

Wfmc, 2008 : *tc-1011 ver 3 terminology and glossary french*. *Workflow Management Coalition* [En ligne], <http://www.aiai.ed.ac.uk/project/wfmc/ARCHIVE/DOCS/glossary/glossary.html>.

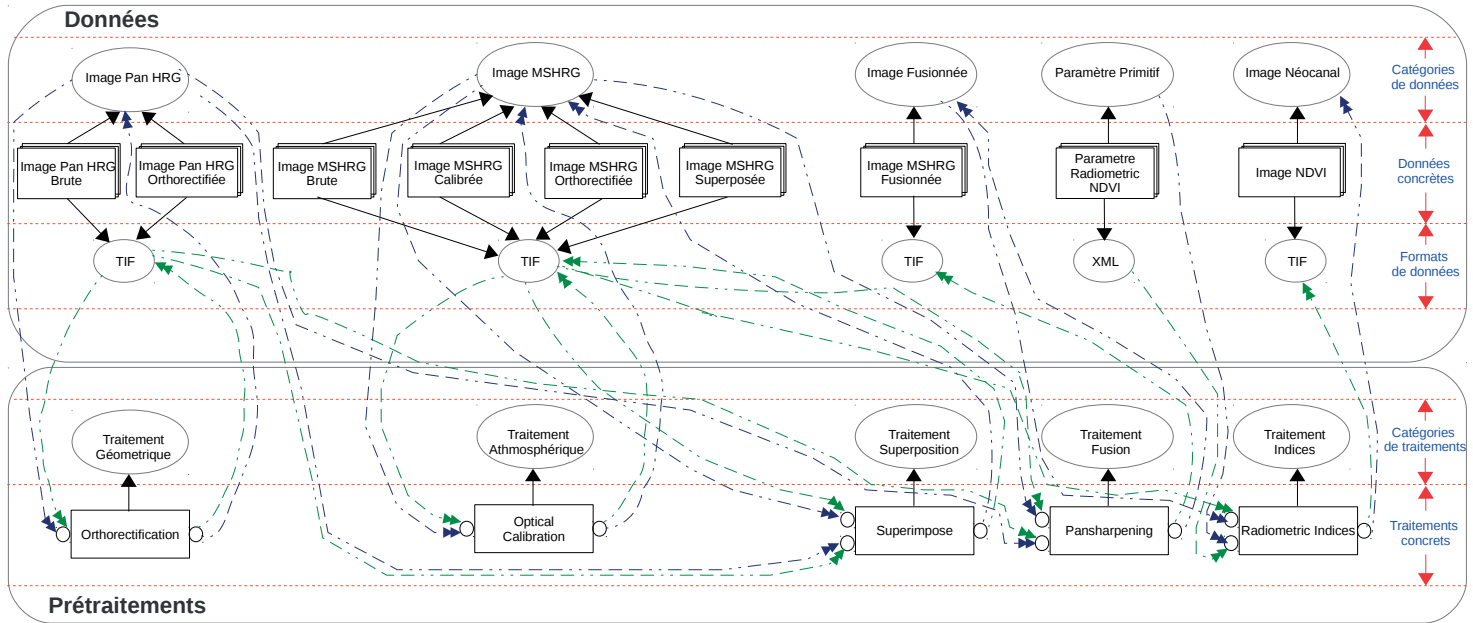


Figure T1: Graphe de ressources reliant les données aux prétraitements

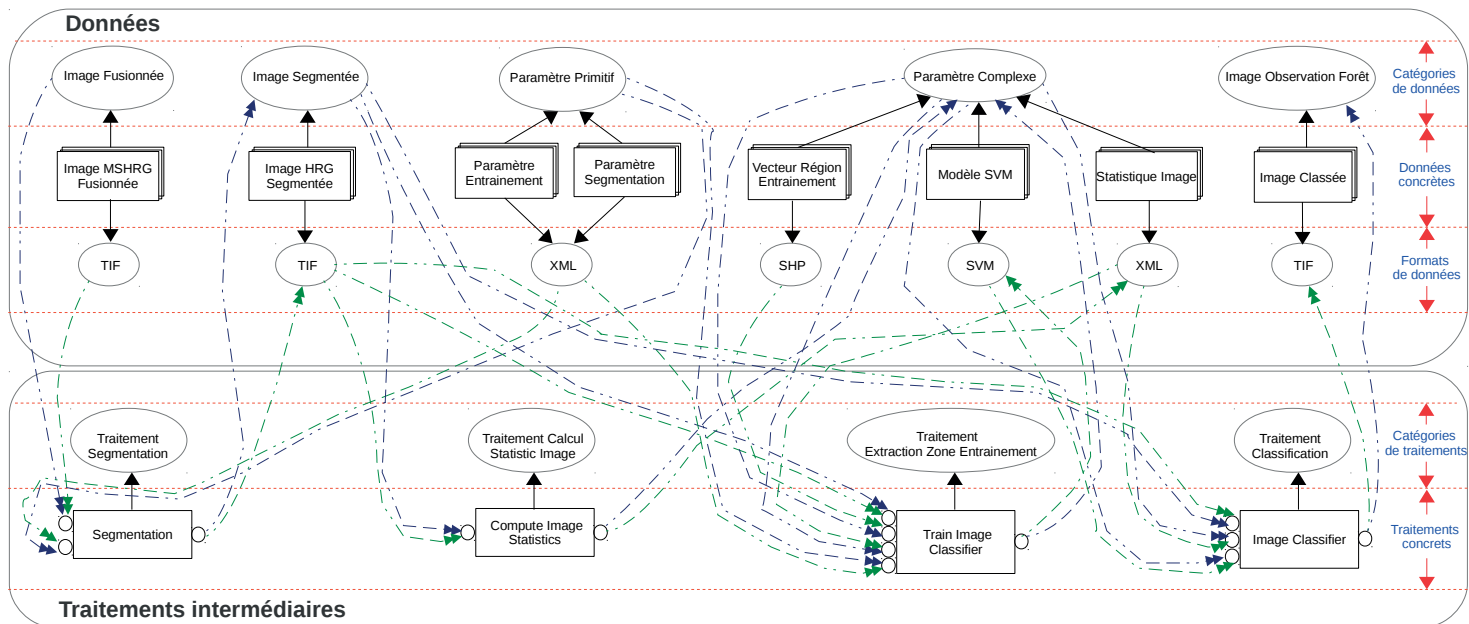


Figure U1 : Graphe de ressources reliant les données aux traitements intermédiaires



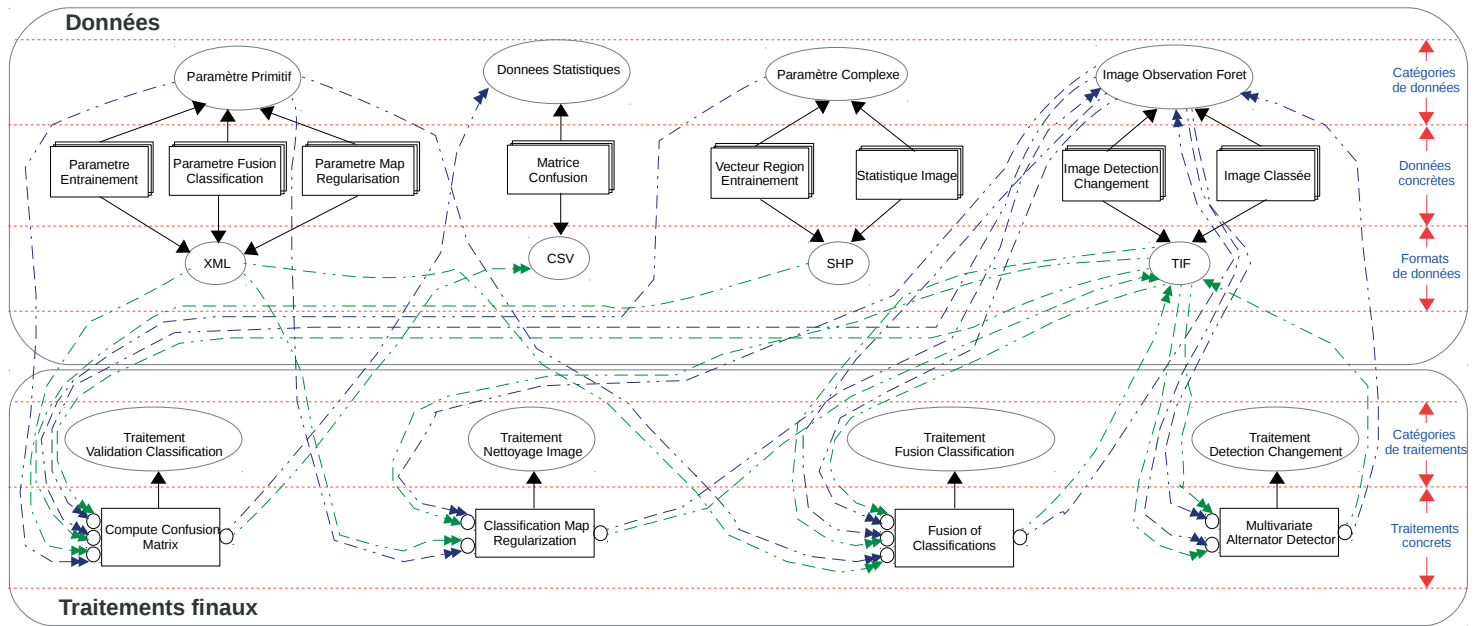


Figure V1 : Graphe de ressources reliant les données aux traitements finaux

FSP PARRUR - Partenariat et Recherche dans le secteur RURAal



# Transitions agraires

## au sud de Madagascar



# Résilience et viabilité deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,  
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**



Institut de recherche  
pour le développement



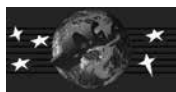
# Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,  
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**

**Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM :  
«Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar»  
Antananarivo, 10-11 juin 2013**

**Antananarivo 2015**



## **Mise au point des manuscrits et mise aux normes de la collection PARRUR**

Noly Razanajaonarijery

## **Traduction des titres, résumés et mots clés en anglais**

Domoina Rakotomalala

## **Conception de la couverture**

François Adoré Razafilahy, MYE

## **Auteurs des photos de couverture**

En recto de couverture, photo de Stéphanie Carrière

En dos de couverture, photo de Dominique Hervé

## **Référence de l'ouvrage pour citation**

Hervé D., Razanaka S., Rakotondraompiana S., Rafamantanantsoa F., Carrière S. (eds.), 2015. Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation. Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM «Forêts, Parcs, Pauvreté au sud de Madagascar», 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-SCAC/PARRUR, Ed. MYE, 366 p.