

**Table des matières**

Introduction	
I.	Cadre de l'étude..... 2
A.	Laboratoire d'accueil..... 2
B.	Contextes naturel et agricole à La Réunion..... 2
1.	Contexte naturel..... 2
2.	Contexte agricole..... 3
a)	Une pression urbaine sur la SAU..... 3
b)	Une culture dominante : la canne à sucre..... 3
3.	Choix des zones d'étude ..... 5
II.	Matériel et méthodes..... 6
A.	Données disponibles ..... 6
1.	Données de télédétection et SIG ..... 6
2.	Données sur les friches ..... 7
B.	Méthodes d'identification des friches par télédétection ..... 8
C.	Choix des images..... 11
D.	Echantillonnage de terrain ..... 12
E.	Méthodes retenues ..... 12
1.	Prétraitements..... 13
a)	Corrections des images brutes..... 13
b)	Masquages complémentaires..... 14
2.	Approches basées sur le pixel..... 14
a)	Analyse de séries temporelles d'images par classification supervisée .... 15
b)	Traitement monodate sur la zone de Sainte-Rose..... 17
3.	Approche orientée objet : classification ascendante hiérarchique (CAH) 19
III.	Résultats et discussion..... 20
A.	Typologie des friches..... 20
B.	Identification des friches par télédétection..... 22
1.	Analyse de séries temporelles d'images par classification supervisée .... 22
2.	Classification monodate sur Sainte-Rose..... 27
3.	Classification Ascendante Hiérarchique ..... 28
C.	Comparaison des méthodes de traitement..... 32
D.	Limites des méthodes testées..... 32
Conclusion	

## Remerciements

Je remercie bien sûr en premier lieu Pierre Todoroff pour m'avoir encadré pendant ce stage. J'ai apprécié sa gestion humaine autant que professionnelle. Les nombreuses corrections apportées à ce rapport m'ont été bien utiles...

Un grand merci également à Nathalie Boyer, collègue et amie, dont l'aide m'a toujours été précieuse.

Je n'aurais tout simplement pas pu faire les traitements de télédétection si je n'avais pas pu identifier les friches lors des sorties sur le terrain. Je remercie donc tout particulièrement Louis Paulin et Raymond Nativel pour leur aide, leur connaissance du terrain et leurs conseils avisés.

Merci aussi à Pascal, Mickaël, Lionel, Stéphanie... et à toutes les personnes du CIRAD à Saint-Pierre, bien trop nombreuses pour être citées, avec lesquelles j'ai été en relation ou sympathisé durant ces six mois. Mention spéciale pour mes Carine et Innocent, y compris pour leurs judicieuses remarques sur les friches.

Merci aux personnes contactées dans d'autres organismes pour les informations fournies, et pour votre intérêt évident pour le sujet de cette étude.

## Introduction

Le concept de développement durable, défini en 1987 par le rapport Brundtland, a mis en évidence la nécessité de nourrir une population estimée à 9 milliards d'habitants en 2050, et de recourir à une production énergétique à partir des énergies renouvelables. Le premier point implique une augmentation de la production agricole, ce qui peut être fait par augmentation des rendements des cultures et/ou par augmentation des surfaces cultivées et par la production de biomasse à but énergétique par l'agriculture. Le second point se traduit par l'utilisation d'énergies nouvelles, renouvelables. Les énergies renouvelables issues des produits de l'agriculture entrent ainsi en conflit avec la suffisance alimentaire, dès lors qu'elles requièrent la mise à disposition de surfaces cultivables.

La Réunion, île tropicale, ne possède de fait qu'un territoire restreint, où la quasi-totalité de la surface potentiellement cultivable est d'ores et déjà exploitée, par l'agriculture ou grignotée par l'extension de l'habitat urbain. C'est pourquoi les institutions en lien avec le milieu agricole, conscientes des besoins de développement énergétique et alimentaire à long terme, ont initié une reconquête des espaces agricoles actuellement non utilisés. La re-exploitation de ces territoires agricoles en friches constitue ainsi un enjeu prioritaire, à condition de les localiser avec exactitude.

Or, « les outils de télédétection semblent des moyens d'inventaire et de suivi privilégiés du fait de leur large couverture géographique, du caractère instantané et répété de la mesure et de l'aspect numérique de l'information. [...] Les capteurs optiques haute résolution sont les plus utilisés avec notamment les scènes des satellites d'observations de la terre TM et SPOT (San Miguel-Ayanz *et* Biging, 1997) qui autorisent, si le couvert nuageux le permet, un suivi diachronique de la variabilité spatio-temporelle de l'occupation du sol » (Ruelland, Laurent *et al.*).

Le travail présenté ci-après a pour but de déterminer une ou des méthodologie(s) susceptible(s) de permettre l'inventaire et le suivi des terres agricoles en friches à partir de données de télédétection.

Dans une première partie, nous rappellerons le cadre et le contexte particuliers de l'Île de La Réunion, afin de bien appréhender la problématique de la télédétection des friches sur ce territoire. Une étape préalable indispensable sera la détermination d'une typologie des friches, inexistante pour le moment. Puis nous présenterons les méthodes mises en œuvre pour détecter les friches. Enfin, nous exposerons les résultats afin de les discuter, pour préciser leur champ d'application possible et les limites des méthodes proposées.

## I. Cadre de l'étude

### A. Laboratoire d'accueil

Ce stage a été réalisé au sein du CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) durant 6 mois, de mars à août 2010.

Le CIRAD est l'institut français de recherche agronomique au service du développement des pays du Sud et de l'outre-mer français. Il privilégie la recherche en partenariat. Il rassemble 1 800 agents, dont 800 chercheurs. Il comprend 3 départements et 46 unités de recherche. A La Réunion, 181 agents dont 55 chercheurs composent l'antenne régionale, répartis sur quatre stations. Le stage quant à lui a été effectué au sein du Département PERSYST (Performance des Systèmes de production et de transformation tropicaux) dans l'UPR (Unité Propre de Recherche) « Système de culture annuels », au sein du Pôle Canne à sucre, sous la direction de Pierre Todoroff (chercheur, responsable de projets).

### B. Contextes naturel et agricole à La Réunion

#### 1. Contexte naturel

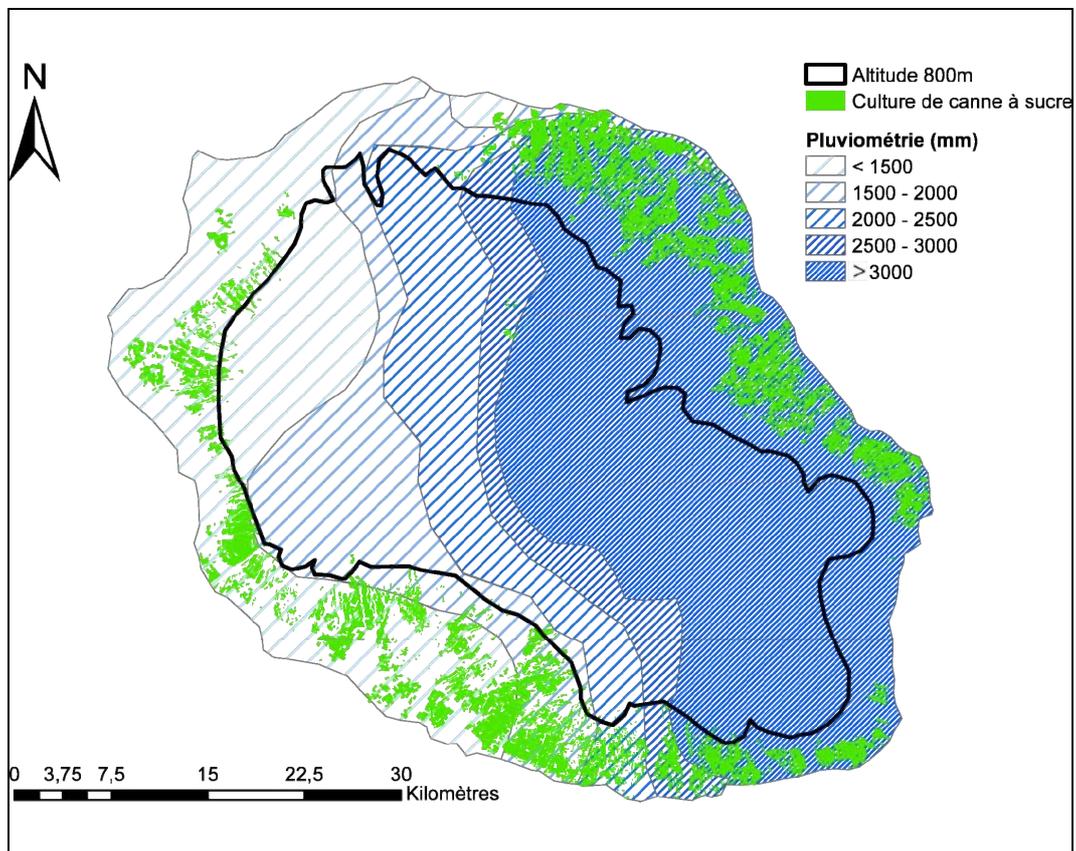


Figure 1 : Carte de répartition des cultures de canne à sucre, courbe de niveau des 800 m et pluviométrie

La Réunion est une île tropicale de l'hémisphère Sud. Elle est en réalité la partie émergée d'un volcan de 7000 m de hauteur. La surface de l'île est d'environ 2500 km<sup>2</sup>. Malgré cette faible superficie, le point culminant (le Piton des Neiges) dépasse tout de même les 3000 m d'altitude (3069 m exactement).

Les facteurs environnementaux sont particulièrement contraignants pour l'agriculture. Le climat est de type tropical humide avec deux saisons : un hiver frais et sec de Mai à Novembre, et un été chaud et pluvieux en été, de Décembre à Avril. Les précipitations estivales sont très importantes : l'île de La Réunion possède les sites ayant la pluviométrie la plus élevée au monde, sur une période de 1 heure à 15 jours, pour une précipitation totale avoisinant les 10 m/an sur la côte Nord-Est. On observe tout de même des variations fortes de la pluviométrie sur les différentes zones de l'île : la côte Nord-Est reçoit 70% des précipitations tandis que la côte Sud-Ouest reçoit moins de 1500 mm de précipitations par an.

De plus, le relief important génère des variations de ces paramètres, l'altitude accentuant les différentiels thermiques et pluviométriques. On parle ainsi de la zone des « Hauts » pour les zones d'altitude élevée, où la température est notablement plus faible que dans les « Bas ». Concrètement, la limite entre les « Hauts » et les « Bas » est souvent donnée comme la limite altitudinale de culture de la canne à sucre, c'est-à-dire environ 800 m d'altitude.

## **2. Contexte agricole**

### **a) Une pression urbaine sur la SAU**

La Réunion est une région monodépartementale, composée de 24 communes. La population était de 805 500 habitants en janvier 2008 [*source : INSEE*], avec une démographie élevée. 85% de la population vit sur la bande côtière qui concentre l'essentiel des activités économiques. Ces chiffres impliquent une forte pression sur le domaine agricole, les surfaces cultivables étant situées au voisinage direct du littoral habité. La spéculation immobilière qui en résulte fait partie des causes de l'abandon continu de certaines parcelles cultivables.

### **b) Une culture dominante : la canne à sucre**

Actuellement : 52% de la SAU (Surface Agricole Utile) est dévolue à la canne à sucre (Agreste 2007). L'élevage (essentiellement bovin), l'arboriculture, et différentes formes de maraîchage complètent la liste. Notons également que 1,5% de la SAU de La Réunion est en jachère.



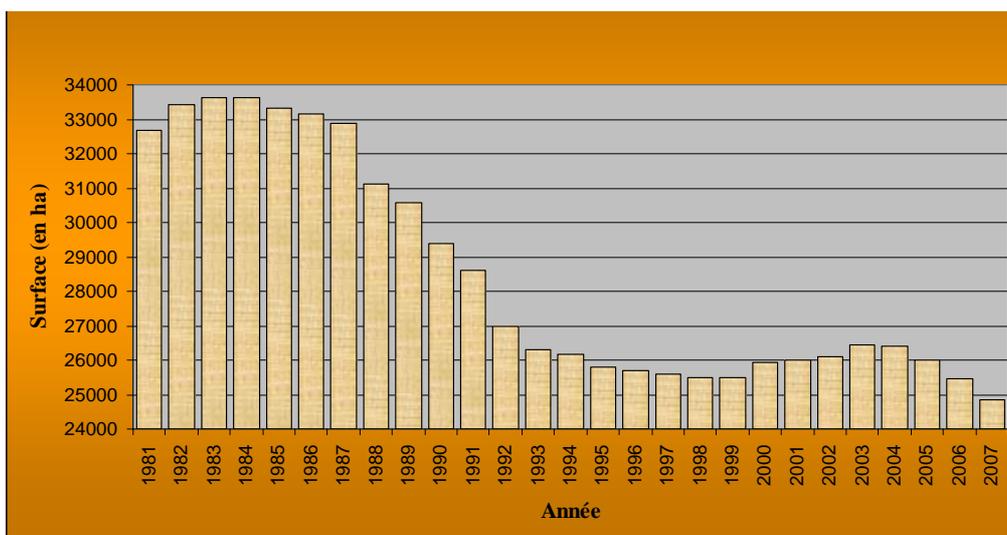
**Figure 2 : Parcelles typiques des deux formes d'agriculture dominantes de La Réunion : canne à sucre (plantation Isautier à Saint-Pierre) et prairie (élevage bovin à la Plaine des Cafres)**

La canne à sucre nous intéresse particulièrement car :

- le phénomène des friches a été constaté en augmentation particulièrement au sein de la sole cannière
- il s'agit de la culture dominante
- elle a été très bien étudiée par télédétection, à La Réunion
- les principaux demandeurs pour la localisation des friches sont en relation avec la filière canne à sucre

La canne domine le paysage à La Réunion car elle est la seule culture qui réponde bien au contexte environnemental précisé précédemment : elle résiste bien aux cyclones et aux conditions climatiques quelques fois extrêmes, limite l'érosion, a un bon rendement, nécessite peu d'interventions culturales. Elle est même considérée comme une culture propre d'un point de vue environnemental, car elle maintient et améliore à long terme le stock de matière organique du sol.

Malgré tout cela, on observe depuis une vingtaine d'années une diminution de la surface cultivée en canne à sucre (Figure 3).



**Figure 3 : Evolution des surfaces cultivées en canne à sucre à La Réunion (Source : DAF-CTICS, surfaces déclarées)**

Cette chute constatée, notamment de 1985 à 1995 (presque 20% de la surface initialement cultivée) a des causes diverses : urbanisation croissante, **abandon de terres agricoles** (pour des raisons économiques, départs à la retraite, ou spéculation foncière...), éventuelle non déclaration de certaines parcelles...

Nous pouvons donc nous attendre à trouver un nombre important de parcelles agricoles en friches sur d'anciennes parcelles cultivées en canne à sucre. Les autres cultures, au moins dans les « Bas », étant minoritaires, une attention sera donc portée sur la reconnaissance des friches au sein d'un parcellaire essentiellement cannier.

Une autre donnée importante est que la sole cannière est caractérisée par une forte proportion de petites parcelles : 1 à 2 ha en moyenne par parcelle. La résolution spatiale des images SPOT disponibles (10 m et 20 m – domaine de la haute résolution) paraît adapté à cette échelle de surface, même si les images à 20 m paraissent limitées pour la détection des parcelles de petite taille.

Notons également que la coupe de la canne a lieu à partir du mois de juillet et s'étale jusqu'en novembre/décembre. On observera ainsi une évolution globale de l'occupation des sols au cours de cette période, sachant que la signature spectrale de la canne à sucre en particulier est déjà connue [Rapport sucrète].

Pour compléter ce panorama, précisons que de nouvelles variétés de canne, dites cannes à fibre, sont actuellement en cours d'acclimatation. Ces cannes à fibre possèdent un fort taux de fibre par rapport à la canne à sucre, mais la quantité de sucre produite est beaucoup moins importante, à cause de l'antagonisme de production de ces deux produits chez la canne. Or le résidu de la canne, appelé « bagasse », utilisé pour produire de l'électricité (environ 1/4 de l'électricité de l'Île en 2010), est composé essentiellement de ces fibres. Sachant que la canne à fibre est plus résistante aux températures basses, on comprend alors pourquoi les friches sont également recherchées pour cultiver de la canne à fibre dans les zones en dehors du parcellaire actuel de la canne.

### 3. Choix des zones d'étude

Nous avons focalisé notre étude sur des zones géographiques qui rendent compte de la diversité physique et foncière des friches à l'échelle de l'Île (Figure 4).

Des surfaces importantes de friches étant localisées au sein de la sole cannière, il est essentiel de choisir au moins une zone dans la partie de l'île cultivée en canne (nous retiendrons la zone de Saint-Pierre) et une en-dehors de cette zone (Le Tampon, principale zone cultivée en dehors des régions cannières). De plus, des variations importantes existent entre l'Est pluvieux (comme à Sainte-Rose) et le Sud/l'Ouest sec (dont fait partie Saint-Pierre et également Saint-Paul, dans la zone la plus sèche de l'île). Enfin, l'irrigation de la côte Ouest, au niveau de la commune de Saint-Paul, suite au projet PILO au début des années 2000, a changé la donne de l'agriculture sur cette partie de l'île, originellement non cultivée, qui comporte donc de nombreuses friches actuellement.

Les zones que nous retiendrons sont localisées dans la Figure 4.

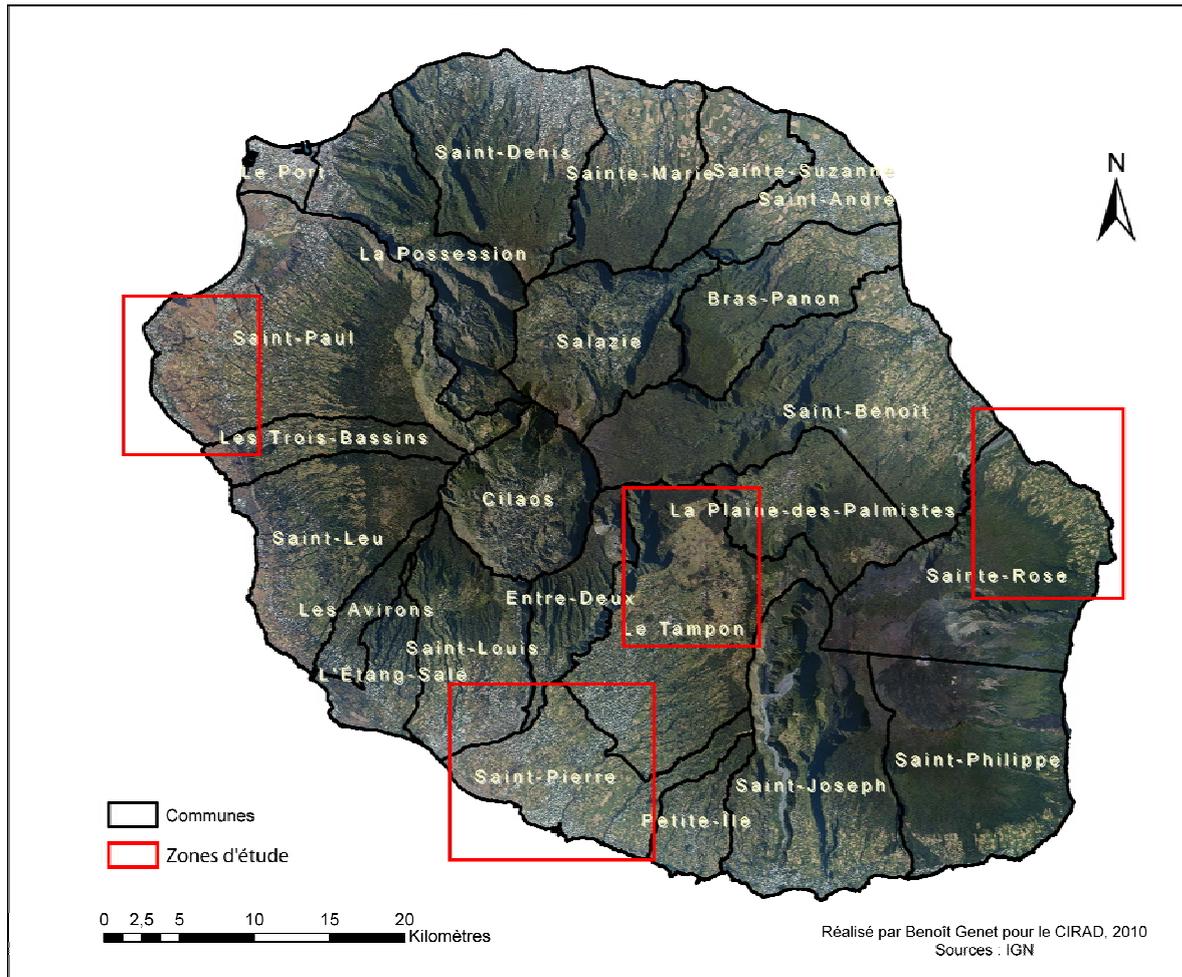


Figure 4 : Localisation des zones d'étude

## II. Matériel et méthodes

### A. Données disponibles

#### 1. Données de télédétection et SIG

Le CIRAD a accès à la base de données Isle-Réunion du portail Kalideos (<http://kalideos.cnes.fr>), réalisé à l'initiative du CNES. Ce site propose des bases de référence sur quatre sites en France, dont La Réunion, donnant aux scientifiques de divers domaines la possibilité d'utiliser de façon aisée et gratuite des données satellitaires adaptées à leur problématique, et d'interfacer leurs modèles avec des données spatiales pour développer de nouvelles applications. Les images pour La Réunion sont principalement issues de prises de vue réalisées par les satellites SPOT de 1986 à 2010.

Les images sont acquises à la demande des chercheurs, pour un total constaté d'environ 10 images produites annuellement ; malheureusement beaucoup sont masquées par les nuages et/ou coupées sur les bords, au niveau des

communes de Saint-Paul (à l'Ouest) et Sainte-Rose (à l'Est), situées aux extrémités de l'Île prise dans le sens de la longueur. Le rognage des images est dû au fait que les images SPOT ont un champ d'observation de 60 km x 60 km alors que la distance de Saint-Paul à Sainte-Rose est d'environ 65 km.

Rappelons les longueurs d'onde captées par les satellites SPOT :

Bande 1 : Vert (0,50 – 0,59  $\mu\text{m}$ )

Bande 2 : Rouge (0,61 – 0,68  $\mu\text{m}$ )

Bande 3 : PIR (Proche Infra-Rouge) (0,78 – 0,89  $\mu\text{m}$ )

Bande 4 : MIR (Moyen Infra-Rouge) (1,58 – 1,75  $\mu\text{m}$ ) à 20 m

Les images SPOT 5 ont une résolution spatiale de 10 m en mode multispectral ; les images SPOT 4 ont une résolution spatiale de 20 m, pour une résolution spectrale identique.

Les données SIG qui ont été utilisées lors de l'étude sont issues de l'IGN : l'ortho-photographie de 2008 avec une résolution de 50 cm, la BD Topo 2009, et le MNT avec un pas de 25 m. La couche SIG du Parc National provient quant à elle de la DIREN (Direction Régionale de l'Environnement) de La Réunion.

## 2. Données sur les friches

D'après *Larousse*, une friche est « un terrain dépourvu de culture et abandonné ». Une définition de l'état d'inculture, au sens légal, est également donnée en annexe. Nous en retiendrons qu'une parcelle ne peut être déclarée « en friche » qu'après une durée minimum de trois années d'inculture.

Les friches n'ont donc pas d'uniformité végétale. Elles se définissent par leur état foncier et non leur état physique.

Plusieurs organismes ont été contactés : Conseil Régional, SAFER, Pôle Elevage du CIRAD. Quasiment aucune donnée n'était disponible. Quelques études de terrain ont été effectuées, mais à petite échelle. Mais le plus étonnant, c'est qu'il n'existait pas de caractérisation physique des friches, seulement une définition foncière (parcelle agricole non cultivée pendant une durée supérieure à trois ans). Or, pour les besoins de la télédétection, il est nécessaire de savoir à quoi ressemble physiquement une friche. Il n'est en tous cas pas possible de se baser sur la définition existante en recherchant de la végétation invariante sur plusieurs années consécutives, car les friches ont une végétation qui évolue au cours des années (élévation de la canopée, arrivée de nouvelles espèces, modification des surfaces relatives entre les différentes espèces suivant les mécanismes de compétition entre elles), avec toutefois de faibles variations dans le cas de friches très anciennes, par exemple à Antenne 4 à Saint-Paul, où certaines parcelles n'ont jamais été cultivées mais sont désormais incluses dans la SAU suite à l'irrigation de la zone grâce au projet PILO (Projet d'Irrigation du Littoral Ouest).

Il a donc été nécessaire d'aller vérifier sur le terrain pour se faire une idée de la composition végétale des friches, afin de pouvoir les classer, puis les identifier par télédétection. L'idée était également de préparer un jeu de parcelles-tests de

composition connue afin de réaliser des classifications supervisées, et de pouvoir quantifier les résultats avec une matrice de confusion.

## **B. Méthodes d'identification des friches par télédétection**

Une synthèse bibliographique des types de méthodes de traitement des données de télédétection pouvant être utiles pour l'identification des friches a été réalisée afin d'élaborer notre démarche et de disposer d'un large panel de choix en fonction de la typologie des friches observées sur le terrain. Nous présentons ici quelques pistes pertinentes pour notre étude.

Les problèmes auxquels nous sommes confrontés sont les suivants :

- les friches ont une large gamme de signature spectrale
- elles ne peuvent pas être définies par leur contexte, c'est-à-dire la présence répétée d'éléments particuliers du paysage, comme par exemple des arbres isolés
- la simple détection des invariants est insuffisante car elle ne détecterait que les forêts, ravines, vergers et friches

### Construction des polygones d'entraînement pour des classifications supervisées

Lors d'une classification supervisée, le nombre et le type des classes souhaitées (cane à sucre, friche...) sont définies en entrée. Chaque pixel de l'image se retrouve affecté à l'une de ces classes d'entraînement, selon des techniques statistiques propres aux différentes méthodes utilisées. Des polygones d'entraînement sont ainsi tracés au préalable, affectés aux différentes classes en fonction de leur appartenance à une classe vérifiée sur le terrain.

Le choix des polygones d'entraînement est déterminant. La quantité et la qualité des pixels de ces polygones choisis vont sensiblement influencer sur le résultat des classifications, même si des classes présentant une faible séparabilité peuvent encore être utilisés après certains traitements [Foody, Lesparre].

Dans le cas des friches, il existe un écart de réflectance entre les parcelles. Les valeurs des pixels dépendent à la fois du type de couvert végétal (espèces présentes), de leur répartition dans l'espace, de leurs proportions relatives, de l'âge de la parcelle... Il paraît difficile de séparer différentes catégories de friches car beaucoup trop de parcelles se retrouveraient uniques et poseraient ainsi le problème d'un nombre de pixel insuffisant pour réaliser les traitements.

Remarque : la matrice de confusion, qui permet de calculer la précision du traitement en comparant la nature des pixels en résultat de classification à ceux de polygones de vérification, dont la nature est connue, a ses limites, notamment à cause du fait qu'il y a toujours certains pixels compris dans les polygones d'entraînement qui ne correspondent pas à la catégorie qui leur est attribuée (Foody 2002).

### Méthodes de cartographie de l'occupation des sols par télédétection

Plusieurs facteurs influent sur la précision d'une classification d'occupation des sols. Entre autres :

- la résolution temporelle (nombre d'images et leurs combinaisons)

- la résolution catégorielle (nombre de classes)
- la résolution spectrale (par exemple NDVI ou combinaison des bandes)
- la résolution spatiale (utilisation de filtres)

Certains de ces facteurs sont traités dans les autres points de cette synthèse.

A La Réunion, la cartographie de l'occupation des sols par télédétection a été réalisée pour le projet TEMOS, afin de produire des informations géographiques sur l'évolution de l'occupation du sol à La Réunion par le traitement d'images satellitaires. Une des techniques employées repose sur la **classification par le maximum de vraisemblance**, à partir d'images différentielles, c'est-à-dire la différence entre les comptes numériques des pixels, entre deux images à deux dates différentes, bande radiométrique par bande radiométrique. Puis une **Analyse en Composantes Principales (ACP)**, suivie d'un seuillage manuel sur la composante numéro 1, permet de synthétiser l'information. **Définition de l'ACP à placer ici.** Une classification par maximum de vraisemblance est ensuite réalisée. La résolution spatiale est de 20 m, mais les résultats sont très bons (92% de précision) (Lagabrielle 2003), (Lagabrielle, Metzger et al. 2007). La limite pour notre étude tient plus dans le choix des catégories d'occupation du sol : les friches vont se retrouver dans plusieurs catégories, ou inversement des catégories définies dans le projet TEMOS peuvent regrouper plusieurs catégories, par exemple la catégorie « végétation arbustive » est malheureusement trop large pour être maintenue : elle englobe les forêts, ravines, vergers et friches. Ces catégories sont donc un bon point de départ mais nécessitent d'être redéfinies, ce qui devrait être faisable au niveau local.

#### Détection des friches par classification supervisée

La méthode de classification la plus utilisée est la **classification supervisée (maximum de vraisemblance)**, avec vérification par matrice de confusion (Fer 1994).

Il est essentiel de choisir les dates où se trouve le maximum d'information, c'est-à-dire par exemple une image prise en été et une autre en hiver. Ces dates-clés sont nécessaires pour obtenir une bonne précision.

L'utilisation de la **combinaison de valeurs de NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index), qui est un indice de végétation faisant intervenir les canaux Rouge et PIR, comparée aux bandes radiométriques, avec des résultats inférieurs pour le NDVI, quelles que soient les associations de dates. L'utilisation de **filtres majoritaires** (chaque pixel prend la valeur de la classe la plus représentée au sein du groupe de pixels environnants) avec des tailles de fenêtre variables ne donne pas de résultats aussi bons que la classification avec les quatre bandes radiométriques, bien que l'utilisation du filtre de **taille de fenêtre 7x7** peut augmenter significativement le résultat (Guerschman, Paruelo et al. 2003).

#### Etudes diachroniques/détection de l'invariance de la végétation

Les études diachroniques permettent en général de détecter des variations intra- ou interannuelles, décelables pour les cultures. De la même manière, il est possible d'extraire de ce type d'étude des pixels invariants, qui peuvent correspondre à la végétation permanente, dont font partie les friches.

La recherche des successions culturales sur deux années consécutives peut être réalisée par extraction préalable d'éléments permanents (zones urbaines, eau, forêt, vignes) à l'aide de traitements et classifications monodates (Ruelland, Laurent et al.). Un point central est l'utilisation d'une **composition** d'images de **NDVI** (association sur une même image des valeurs de NDVI de plusieurs dates).

La particularité d'une telle méthode est qu'elle fait appel à l'interprétation de l'utilisateur (combinaison des classes, seuillage manuel sur une classe, choix des dates), mais les résultats (matrice de confusion) sont satisfaisants.

Pour une étude multidates, parmi les techniques existantes de détection des changements, on peut citer la différence de bandes ou de NDVI, et aussi la **comparaison des images issues de classifications (Singh 1989; Khreim 1995; Mas 1999)**.

Dans le cas de la végétation, une **différence** de valeurs de **NDVI** entre différentes dates, ou encore une **différence de « Fraction de Couverture Végétale » =  $(NDVI_{max} - NDVI_t) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$**  (Shao-Jun, Jing-Hong et al. 2008), permettent de déterminer les changements de végétation (Khreim 1995; Pu, Gong et al. 2008).

### Méthodes d'analyse texturale

La texture est l'assemblage spatial détaillé résultant de la variabilité de la réflectivité moyenne. La texture de l'image est produite par un ensemble d'éléments trop petits pour être identifiés individuellement. Deux objets ayant la même teinte ne seront pas différenciés par une classification sur les bandes radiométriques. En revanche, la texture peut permettre de les discriminer. Homogénéité, dissimilarité sont les principaux indices texturaux, y compris pour les friches. Ils doivent être combinés aux valeurs radiométriques afin de réaliser des classifications texturales (Dedieu, Borinichia et al. 1997)

Les indices dont il est ici question sont ceux de (Haralick 1973; Haralick 1979), dont nous retiendrons surtout les indices de **dissimilarité** et d'**homogénéité**.

La texture a cependant rarement un impact significatif sur la précision des classifications, en particulier parce que la texture observée sur le terrain ne se retrouve pas sur les images à cause de la résolution spatiale (Mather 1999).

Les friches, malgré leur grande variabilité spectrale, peuvent être distinguées des grandes cultures par leur texture caractéristique, qui est hétérogène. Cependant, pour une résolution spatiale trop faible, la variabilité spectrale est plus grande à l'intérieur d'un même type de friches qu'entre les différents types de friches (Jürgens 1993)...

### Approche objet

La classification orientée objet se base sur une segmentation de l'image préalable à la classification pour construire des « objets géographiques », autrement dit des polygones qui présentent une certaine cohérence sur l'image et dont les limites peuvent se baser sur des discontinuités « visibles ». Ces objets héritent d'un ensemble d'attributs directs ou dérivés liés à leur radiométrie (texture et structure), à leur géométrie et à leur voisinage.

Il apparaît sans ambiguïté que cette approche donne des résultats supérieurs par rapport à une approche basée sur le pixel, quels que soient la résolution spatiale, ou le but de la classification (occupation des sols ou recherche d'une catégorie

précise) ou la taille de la zone d'étude (Sparfel, Gourmelon et al. 2008). Le logiciel eCognition de Definiens semble être le leader de ce domaine.

### C. Choix des images

Nous disposons d'images SPOT à hauteur d'environ dix images par an, de 2002 à 2009 pour SPOT 5, et de 1998 à 2009 pour SPOT 4.

Un grand nombre de dates augmente la précision, mais toutes les dates n'ont pas la même information (Guerschman, Paruelo et al. 2003). Divers critères ont permis de choisir un nombre limité d'images parmi celles disponibles :

- **L'écart temporel entre les images.** Sachant que l'on dispose d'une ortho-photographie récente (2008) qui sert de référence visuelle et que l'on va réaliser des échantillonnages de terrain en cette année 2010, il est nécessaire, pour pouvoir comparer judicieusement les données (c'est-à-dire avec une occupation du sol similaire sur les différentes images retenues), de choisir des images satellite également récentes.

- **L'année d'acquisition.** De même, afin d'éviter d'avoir à prendre en compte d'éventuels changements de catégorie d'occupation du sol entre plusieurs cycles culturaux successifs, une seule année sera retenue. L'année de réalisation de l'ortho-photographie (2008) sera retenue. Ainsi, aucun changement ne viendra fausser les traitements.

- **La nébulosité et le champ au sol de l'image.** En revanche, il n'est pas possible d'utiliser toutes les images de cette année-là. En effet, les zones d'étude sont parfois masquées par les nuages.

- **Les saisons d'acquisition.** De plus, il n'est pas nécessaire, pour une étude diachronique, de retenir la totalité des images disponibles sur la période : des dates-clés représentatives des différents états de la végétation et de leurs variations suffisent à obtenir une information optimale (Guerschman, Paruelo et al. 2003).

En fonction de la qualité des images disponibles au niveau des zones d'étude considérées et de la nécessité de retenir les dates importantes, cinq images ont été sélectionnées (Tableau 1). Elles recoupent bien les différents stades de croissance de la canne, classe prédominante des zones agricoles.

	SPOT 4	SPOT 5	SPOT 5	SPOT 5	SPOT 4
	2008	2008	2008	2009	2007
<b>Zone d'étude</b>	<b>27 février</b>	<b>18 juin</b>	<b>21 octobre</b>	<b>21 mars</b>	<b>20 novembre</b>
<b>Saint-Paul</b>	x	x	0	0	0
<b>Saint-Pierre</b>	0	x	x	x	x
<b>Le Tampon</b>	x	x	x	x	0
<b>Sainte-Rose</b>	x	0	0	0	0

x : faible nébulosité : image exploitable

0 : forte nébulosité : image inexploitable

Tableau 1 : Sélection des images exploitables

## **D. Echantillonnage de terrain**

Pour chaque zone, nous avons repéré visuellement des parcelles de friches sur l'ortho-photographie, et contrôlé leur nature sur le terrain, afin de construire des parcelles-polygones de friches de référence.

Dans notre étude, le nombre d'individus par classe est parfois limité (par exemple, environ 15 individus pour la canne sur l'image de Saint-Pierre). En revanche, le nombre de pixels de chaque classe est toujours suffisant, par rapport aux chiffres avancés dans la littérature : 300 pixels (Pal and Mather 2003), ou 50 pixels par catégorie (Congalton 1991), couvrant toute la gamme de valeurs des pixels de la classe. Cela suppose une forte homogénéité pour chaque classe, ce qui n'est pas le cas ici, c'est pourquoi on retiendra un nombre plus élevé de pixels par classe, environ 1000 pixels au minimum.

Pour les classifications supervisées, les échantillons de friches ont été divisés en deux parties à peu près égales : des polygones d'apprentissage et de polygones de validation.

## **E. Méthodes retenues**

Parmi les méthodes existantes et présentées précédemment, nous ne présenterons ici que trois méthodes. Les deux premières sont basées sur le pixel, faisant intervenir des classifications, multivariate dans le premier cas, et monovariate dans le second cas. La troisième méthode présentée utilise l'approche orientée objet. Toutes ces méthodes reposent sur la même chaîne de traitements globale (Figure 5).

Les méthodes peuvent être basées sur le pixel ou orientées objet. Dans le premier cas, les éléments traités sont les pixels correspondant à chaque bande radiométrique. Dans le second cas, les éléments traités sont des « objets géographiques » constitués de polygones délimités après segmentation de l'image, possédant des attributs dérivés, entre autres, de la structure et de la texture calculés à partir de la radiométrie des images brutes.

L'évaluation de la précision permet de quantifier la qualité du résultat, lorsque cela est possible.

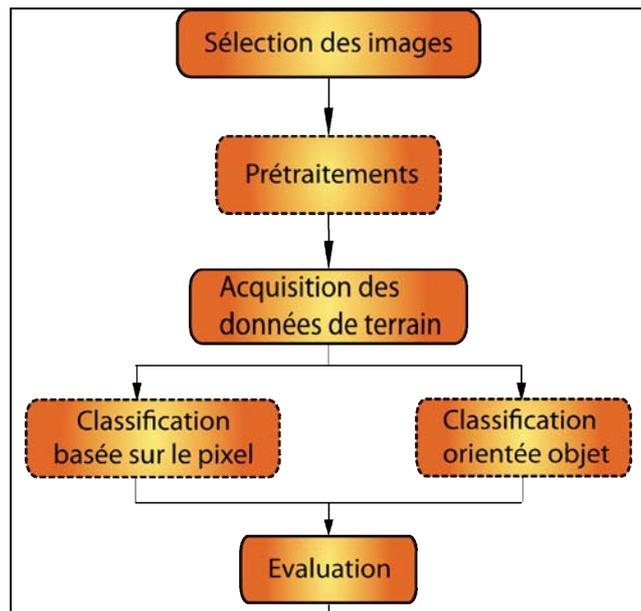


Figure 5 : Schéma synthétique de la chaîne de traitements des données

Les méthodes que nous présentons ici ont été appliquées sur les images acquises aux cinq dates choisies initialement. Elles sont inspirées de la synthèse réalisée précédemment. Toutes n'ont pas donné satisfaction, c'est pourquoi nous ne présenterons en détails que certaines d'entre elles. Une liste des méthodes testées est néanmoins donnée en annexe.

## 1. Prétraitements

Les prétraitements sont des traitements nécessaires préalables à l'application de la méthode. Il s'agit en général de corriger les images brutes, ou d'en masquer une partie non exploitable.

### a) Corrections des images brutes

Les images SPOT utilisées sont déjà corrigées radiométriquement, atmosphériquement et géométriquement. Nous utilisons dans cette étude des ortho-images TOC (Top Of Canopy) disponibles pour la plupart des produits de la base Kalideos. Les comptes numériques sont convertis en réflectance de sommet du couvert après prise en compte de l'étalonnage absolu des capteurs SPOT, et correction radiométrique des effets de l'atmosphère par simulations avec le logiciel 6S (De Boissezon and Sand 2006). Cette correction rend possible la comparaison des valeurs radiométriques sur des images acquises par différents capteurs et à des dates différentes. Nous avons en outre réalisé un masque des couches nuageuses, qui rendent inexploitable certaines zones de l'île sur chaque image.

## b) Masquages complémentaires

Certaines zones n'apportent rien dans la recherche de terres en friches. Pour limiter les risques de confusion lors des classifications, les zones sans intérêt ont donc été masquées.

Des masques ont ainsi été réalisés pour les éléments suivants :

- **Bâti**, à partir des couches SIG vectorielles de la BD Topo 2009 de l'IGN suivantes : constructions linéaires (tampon de 5 m), terrains de sport, bâtis industriels, bâtis remarquables, cimetières, constructions surfaciques, pistes aérodromes, réservoirs, bâtis indifférenciés.
- **Réseau routier**, avec les couches de la BD Topo 2009 : routes primaires (tampon de 10 m) et routes secondaires (tampon de 5 m)
- **Fonds de ravine et étangs** : couche Surface\_eau de la BD Topo 2009
- **Pentes > 30 %** (équivalent à des pentes > 16,7°), avec le MNT de l'IGN (pas de 25 m)

Le masque global réalisé avec l'ensemble de ces éléments a été appliqué avant de réaliser les traitements proposés.

Une étape de post-traitement a été réalisée par l'application d'un filtre majoritaire avec une taille de fenêtre 3x3 autour de chaque pixel. Pour ce filtre, chaque pixel se voit attribué la valeur de la classe la plus représentée au sein de la fenêtre.

Les pixels situés sur des ravines sont supprimés en réalisant un masque avec un tampon de 50 m autour des cours d'eau. Cette étape n'est pas réalisée en pré-traitement car la végétation des friches et des ravines étant très proches, il est possible de construire la classification en utilisant quelques pixels de ravines dans la classe friche, mais il est nécessaire de les masquer *a posteriori* car les ravines ne sont pas des friches d'un point de vue foncier.

Les pixels isolés ont été éliminés, avec un seuil minimum de pixels groupés fixé à 9, soit une surface de 900 m<sup>2</sup> pour une image SPOT 5 et 3600 m<sup>2</sup> pour une image SPOT 4. Ce seuil permet de ne conserver que des parcelles cultivables et d'éliminer, par exemple, les pierriers, et les artefacts dus aux effets de bordures.

## 2. Approches basées sur le pixel

Les essais avec une approche basée sur le pixel ont été réalisés avec, pour chaque classification, différentes associations de classes d'apprentissage (friches, canne, forêt, vergers, fond de ravine, remparts de ravine, friche herbacée) et du seuillage. Pour les classifications non supervisées, plusieurs nombres de classes de départ, et d'itérations ont été testés, avec la combinaison des classes suspectées comme étant des friches.

Le but étant de comparer les méthodes entre elles, il a été décidé de se concentrer sur une des deux zones pour lesquelles on disposait le plus d'images (Saint-Pierre et Le Tampon), et finalement sur celle qui avait une grande diversité d'occupation du sol, qui est la zone de Saint-Pierre.

Notons que pour chaque traitement, un filtre majoritaire de taille de fenêtre 3x3, utilisé en post-traitement, augmente significativement la précision globale du traitement.

**a) Analyse de séries temporelles d'images par classification supervisée**

Cette classification repose sur l'empilement de toutes les bandes spectrales disponibles (i.e. quatre pour chaque date) sur une seule image. Par exemple, avec quatre images exploitables pour Saint-Pierre, on obtient une image unique composée de seize bandes. L'idée est d'utiliser simultanément l'information brute contenue à chaque date, plutôt que de considérer l'information date par date. On oublie ainsi l'origine des données et on se concentre sur le fait que les valeurs des réflectances de chaque bande spectrale correspondent à une matrice de valeurs. Ces matrices ont un sens car la signature spectrale de chaque catégorie d'occupation du sol est déterminée en fonction des différentes valeurs des pixels pour chaque bande. En regroupant les matrices, on considère l'ensemble des valeurs qu'un pixel peut prendre au cours du temps et dans les différentes longueurs d'onde. Cette méthode peut se justifier par le fait que les images n'apportent pas la même qualité d'information selon les dates (Guerschman, Paruelo et al. 2003). Les auteurs ont montré que certaines combinaisons d'images à deux dates différentes apportent une meilleure précision globale en résultat de classification que des combinaisons de trois dates. Nous traitons donc ici simultanément le problème de la variabilité d'information des différentes dates et la variabilité d'information des différentes bandes.

Les informations contenues dans toutes ces bandes sont parfois redondantes, il est primordial d'effectuer une ACP. Cette ACP va réduire le nombre de composantes spectrales, et ainsi concentrer l'information. Le nombre de composantes principales conservées pour la suite du traitement est déterminé en fonction du pourcentage d'information contenue dans chacune des bandes, l'essentiel étant de conserver plus de 99% de l'information totale. Le nombre de composantes conservées est donc variable d'une image à l'autre.

Nous réalisons ensuite, sur l'image résultante de l'ACP, une classification supervisée, par la méthode du maximum de vraisemblance.

Sur une combinaison de classifications réalisées individuellement aux quatre dates (avec une ACP réalisée avant chaque classification), chaque classification en résultat a le même poids lors du regroupement final. Par contre, en réalisant l'ACP sur les 16 bandes regroupées, on capte le maximum d'information de l'ensemble des bandes.

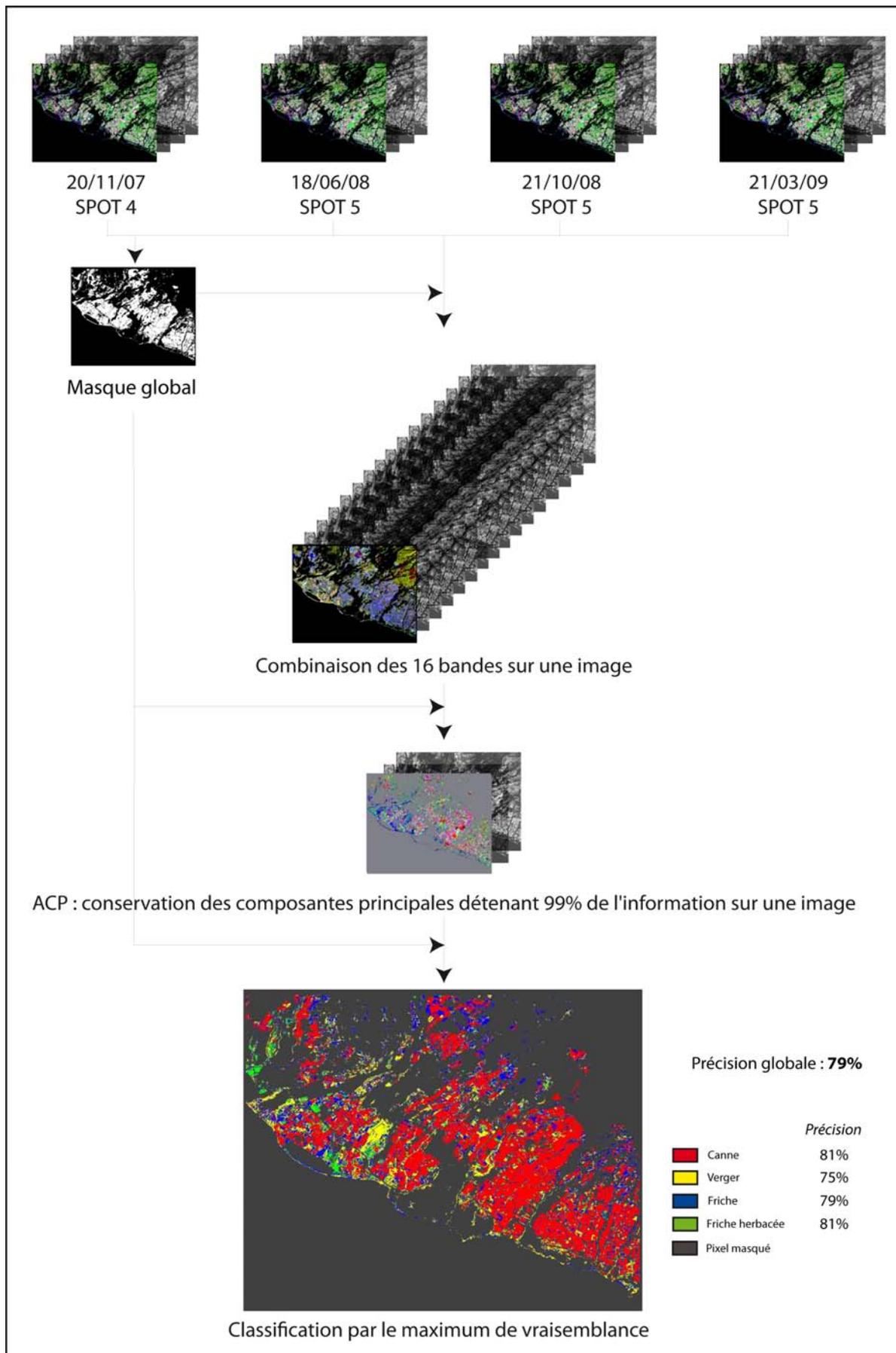


Figure 6 : Analyse sur des séries temporelles d'images par classification supervisée : exemple sur la zone de Saint-Pierre

## b) Traitement monodate sur la zone de Sainte-Rose

La zone de Sainte-Rose ne se prête pas à une analyse multodate à cause de la présence extrêmement fréquente d'un couvert nuageux (rappelons que Sainte-Rose se situe dans la zone de pluviométrie maximale), et de sa situation géographique en bordure de la trace du satellite SPOT.

Une seconde difficulté propre à cette zone est la diversité extrême des friches. Ajoutons à cela la présence de bananiers cultivés au sein de parcelles apparemment abandonnées, à différencier des de la classe des « Bananeraies » qui font, elles, bien partie du parcellaire utile.

C'est pourquoi nous avons d'abord cherché à identifier sur l'image deux catégories prédominantes : canne à sucre et forêt, qui sont distinguables avec certaines méthodes :

- les forêts ont été identifiées à l'aide d'une classification non supervisée (de type Isodata avec 5 à 20 classes et 40 itérations). Plusieurs classes ont ensuite été combinées par interprétation visuelle par comparaison à l'ortho-photographie, pour créer une classe Forêt.
- une autre classe, celle de la Canne, peut être extraite correctement à partir d'une classification par maximum de vraisemblance. Dans ce cas, nous considérons deux classes (« Friche » et « Canne »).

D'autre part, une classification par maximum de vraisemblance est réalisée sur la zone, avec des polygones d'entraînement de quatre classes : « Friche », « Canne », « Forêt », « Bananeraie ». Ce sont les classes majeures repérées sur le terrain, sauf les bananeraies, qui ont été prises en compte à cause de la confusion constatée sur le terrain des friches et bananeraies, qui n'avaient pas été distinguées par interprétation de l'ortho-photographie.

Le résultat de classification ainsi obtenu est alors masqué avec les deux classes extraites (forêt et canne).

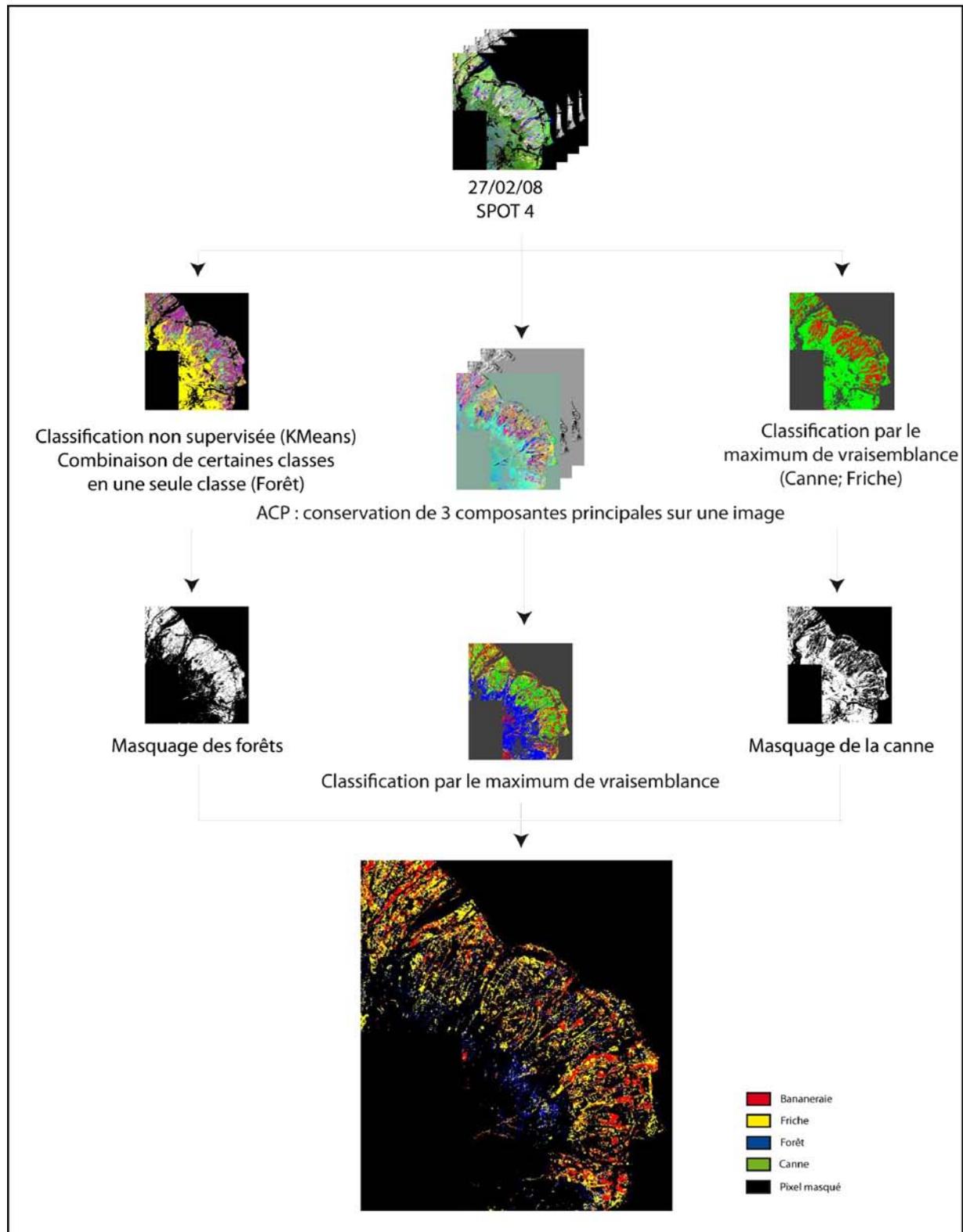


Figure 7 : Traitement monodate : exemple sur la zone de Sainte-Rose

### 3. Approche orientée objet : classification ascendante hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique est un type de classification non supervisée. Les individus traités sont donc répartis en groupes après calcul de la distance statistique entre individus pris deux à deux.

Pour obtenir les individus à classer, nous appliquons les vecteurs correspondant aux parcelles de référence sur les images satellite. Puis, pour chaque zone délimitée par un contour de polygone, on obtient des valeurs statistiques, comme la moyenne ou l'écart-type de l'ensemble des pixels de la zone. Ces calculs sont réalisés à partir des valeurs des pixels sur chaque bande de l'image. On peut ainsi obtenir quatre valeurs pour chaque polygone.

Nos essais ont montré que les moyennes des valeurs des réflectances fournissent les meilleurs résultats. Nous avons donc, pour jeu de données de départ, un tableau avec en colonne les individus que l'on cherche à classer (sachant que leur classe réelle est en réalité déjà connue, ce qui permettra de valider ou non la classification), et en colonne les variables qui sont les moyennes, avec par exemple pour la zone de Saint-Pierre, quatre variables correspondant aux moyennes des réflectances (une par bande) si l'on prend une seule image.

		Variables					
		INDIVIDU	Moyenne_1	Moyenne_2	Moyenne_3	Moyenne_4	
Classes attendues	Individus	Canne	Parcelle 1	61.941	47.941	347.324	174.882
		Canne	Parcelle 2	60.918	42.2	424.624	176.659
		Canne	Parcelle 3	55.433	38.015	409.94	166.955
		Canne	Parcelle 4	63.722	41.291	424.532	170.291
		Canne	Parcelle 5	61.651	38.687	442.277	175.494
		Friche	Parcelle 6	57.159	39.605	373.979	172.912
		Friche	Parcelle 7	63.517	45.724	386.276	193
		Friche	Parcelle 8	64.121	52.045	374.712	186.576
		Friche	Parcelle 9	53.476	38.252	360.332	170.815
		Friche	Parcelle 10	61.35	42	384.9	184.55

Tableau 2 : exemple de tableau permettant de réaliser une CAH

Légende des noms de variables :

1, 2, 3 ou 4 = bande 1, 2, 3 ou 4 (bande 1 = Vert, bande 2 = R, bande 3 = PIR, bande 4 = MIR)

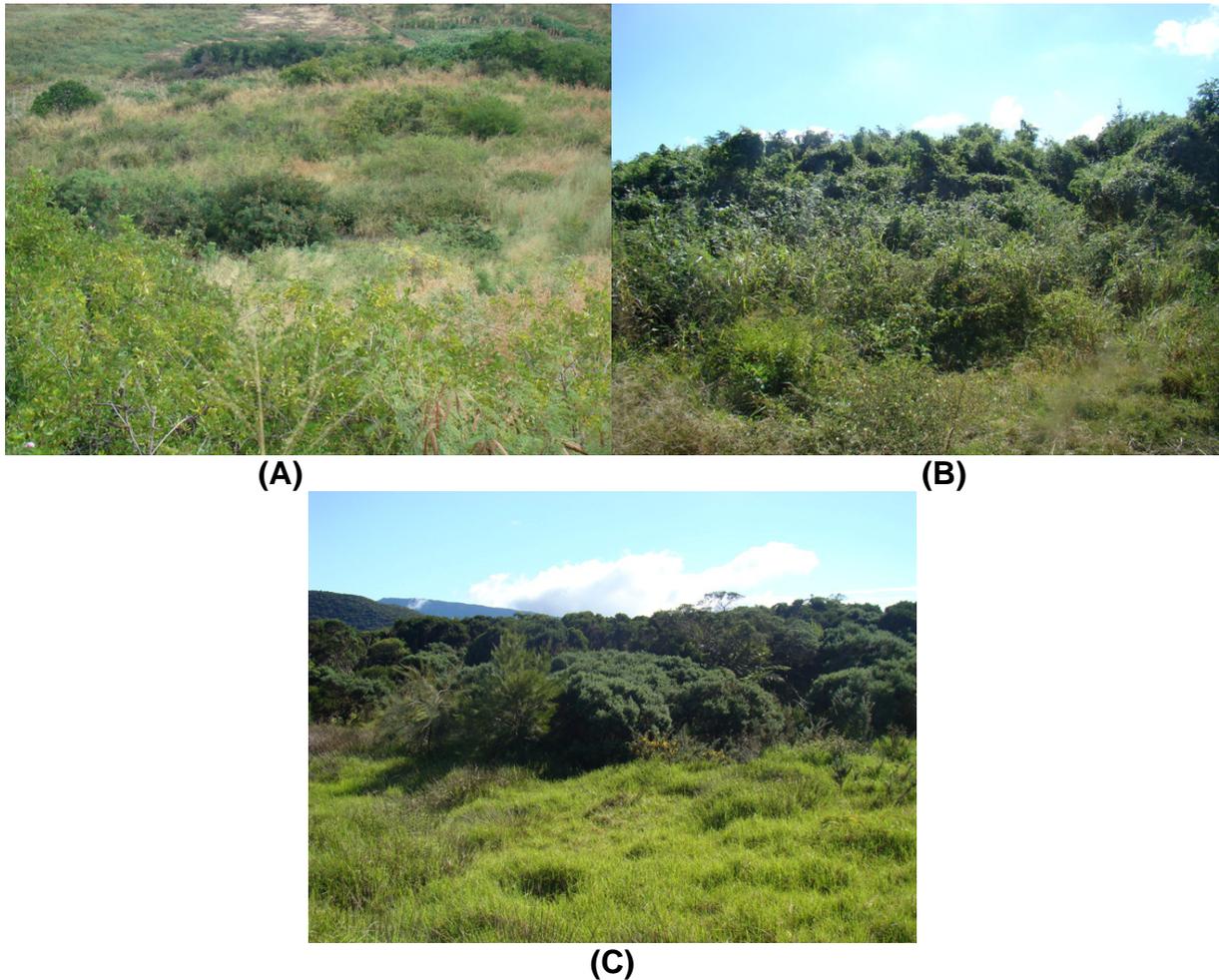
Les classes attendues après traitement sont les classes connues auxquelles appartiennent effectivement les individus. *NB : Les classes obtenues données dans le tableau 2 sont données à titre d'exemple et ne correspondent pas aux classes de la figure montrée dans la partie suivante.*

### III. Résultats et discussion

#### A. Typologie des friches

Nos observations de terrain sur les quatre zones d'étude nous ont permis de définir une typologie des friches rencontrées constituées de cinq associations végétales :

- **Friches mixtes des zones littorales des Bas de l'Ouest** : très typées. Zones buissonneuses de Cassis (*Desmanthus virgatus*) et Zépines [nom scientifique : ?] mélangés avec des zones herbeuses avec du Fataque (*Panicum maximum*, en général 50 % -50 %). Quelques Tamarins de l'Inde (*Tamarindus indica*). Friches basses (<2 m). Ces friches se retrouvent sur Saint-Paul, et également à Pierrefonds (Saint-Pierre).
- **Friches des zones sèches des Bas de l'Ouest** : Cassis, Galabert (*Lantana camara*), Zépines, Baies Roses=Poivrier (*Schinus terebinthifolius*), Lianes (Liane bleue=*Ipomoea nil*, Liane toupie=*I. obscura*, Margose marron=*Momordica charantia*, Poc-poc=*Passiflora foetida*...) ; également des friches très diverses en nombre d'espèces et stratification. Friches moyennes (1 m à 5-6 m). Typiques de la zone de Saint-Pierre.
- **Friches des Hauts de l'Ouest** (> 600 m) : Acacia (*Acacia mearnsii*), Baies Roses. Friches hautes la plupart du temps (arborées). Visibles à Saint-Paul, mais loin du littoral.
- **Friches des Bas de l'Est** : Ambrosat, Baies Roses, Bananiers (*Musa sp.*), autres ; dominance, stratification et nombre d'espèces très divers. Observées sur Sainte-Rose.
- **Friches des Hauts** : très typées. Fleurs Jaunes (*Hypericum lanceolatum*), Genêt (*Ulex europaeus*), Branle vert (*Erica reunionensis*), parfois Bringelliers (*Solanum mauritianum*), Fougères ; Acacia (*Acacia mearnsii*). Friches basses (1-2 m) quand il n'y a pas d'Acacia ; très hautes/arborées en présence d'Acacias. Ce sont les friches de la Plaine des Cafres (Le Tampon).



**Figure 8 : exemples de friches. A : friche mixte à Saint-Paul. B : friche caractéristique de la zone de Saint-Pierre ; C : friche de la Plaine des Cafres, au Tampon : prairie au premier-plan, et friche buissonnante au second-plan**

La quasi-totalité de ces espèces sont des espèces exotiques et invasives. Deux exceptions notables : les Branles verts et Fleurs jaunes de la Plaine des Cafres, qui sont des espèces indigènes, le Branle vert étant même endémique à l'île de La Réunion.

Un nombre non négligeable de parcelles prospectées avaient visiblement été défrichées dans une période récente. Mais les restes des végétaux visibles en bordure de ces parcelles, et le sol très propre récemment travaillé permettent d'attester de la présence probable d'une friche en 2008, année dont sont issues les images ayant servi aux traitements. Cela valide bien le choix d'avoir pris des images de la même année que l'ortho-photographie, qui a servi au repérage de ces parcelles.

## **B. Identification des friches par télédétection**

### **1. Analyse de séries temporelles d'images par classification supervisée**

Les cartes des terrains en friches de Saint-Pierre (Figure 9), Saint-Paul (Figure 10) et Le Tampon (Figure 11) permettent de localiser et visualiser les parcelles détectées à partir d'une l'analyse des séries temporelles par classification supervisée. La classe « Fiches » obtenue en résultat du traitement est reportée sur l'ortho-photographie, qui permet une validation satisfaisante par photo-interprétation des friches identifiées.

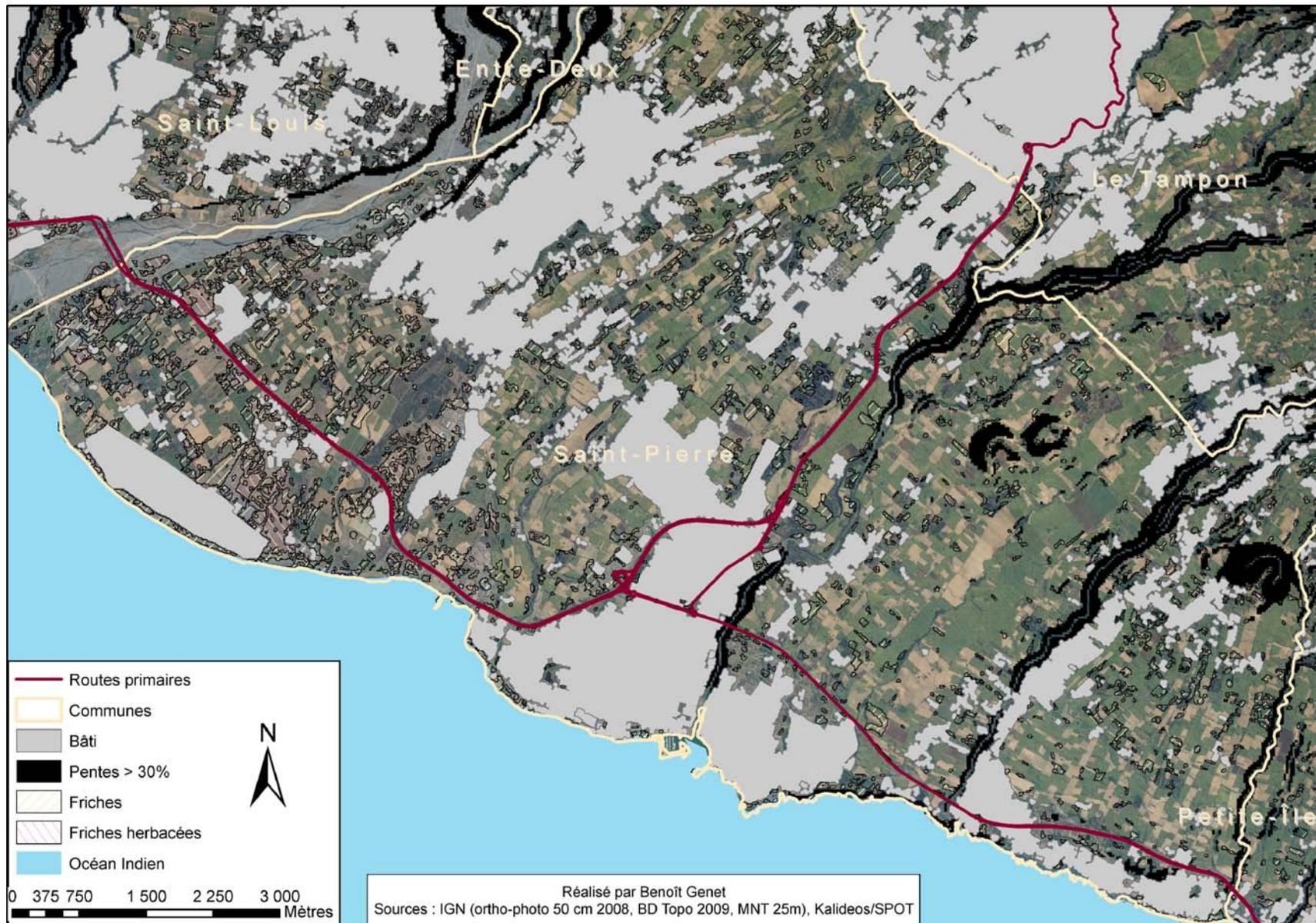


Figure 9 : localisation des friches sur la zone de Saint-Pierre par classification supervisée multivariate

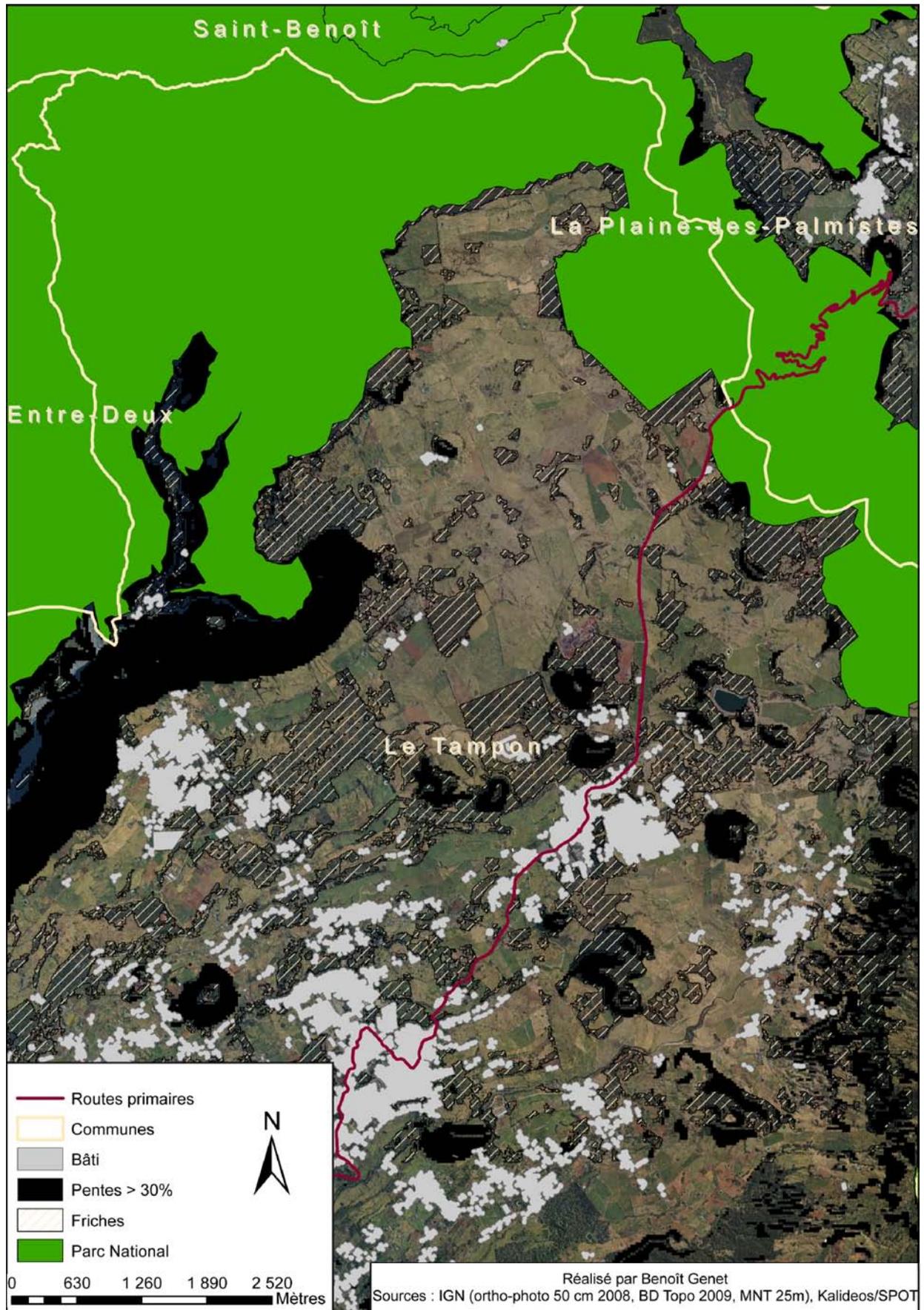


Figure 10 : localisation des friches sur la zone du Tampon par classification supervisée multivariate

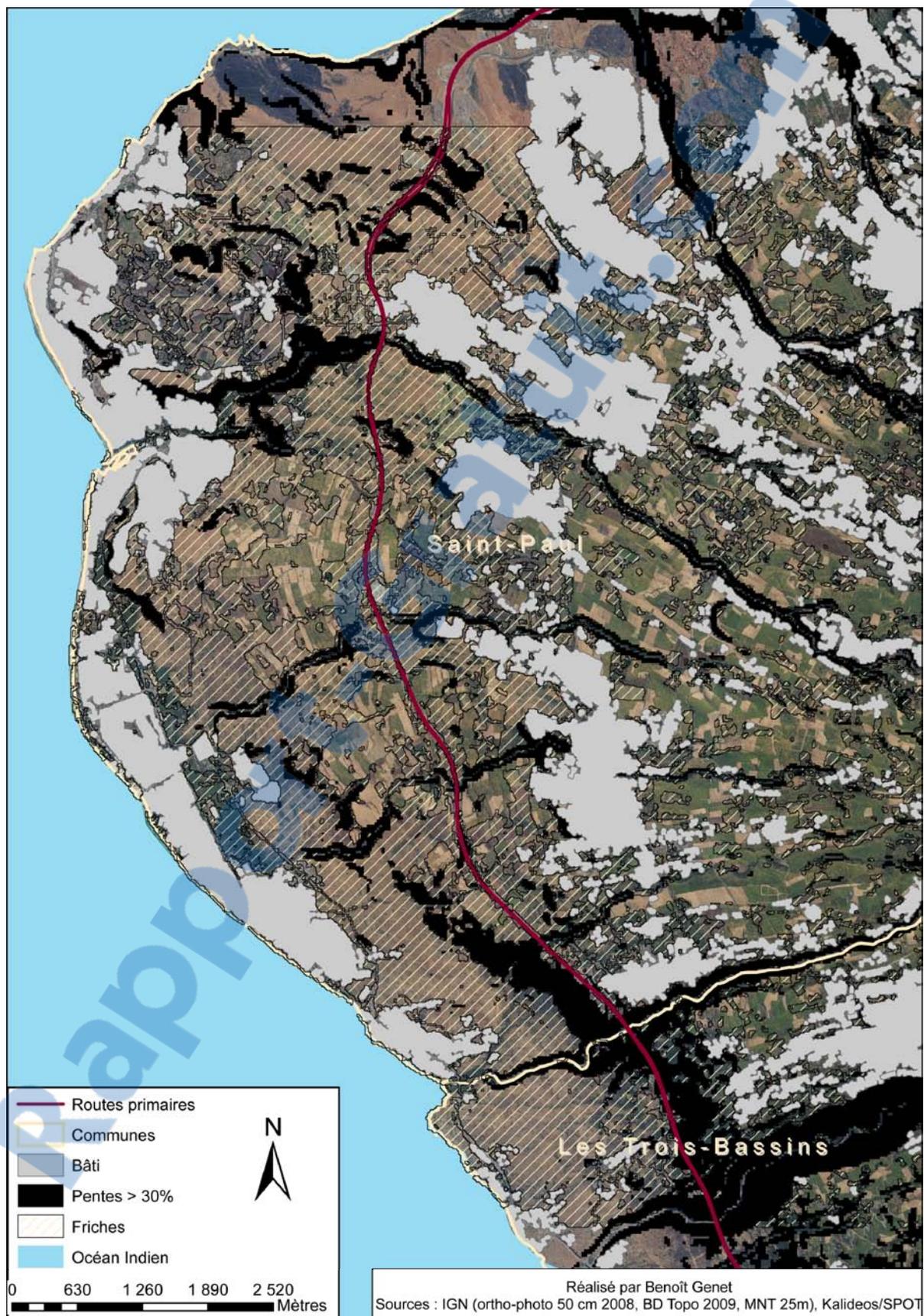


Figure 11 : localisation des friches sur la zone de Saint-Paul par classification supervisée multivariate

Sur la zone de Saint-Pierre (Figure 9), les échantillons de référence de friches non herbacées totalisent 60 ha, sur une surface pour la zone entière, après soustraction des masques, totalisant 8518 hectares. Après classification, la surface estimée en friches sur la zone de Saint-Pierre est de 1016 ha. Ce ratio est probablement surestimé. La zone a été enquêtée exhaustivement suite à une photo-interprétation de l'ortho-photographie. Or, on constate un facteur 15 entre les friches repérées sur l'ortho-photographie et les friches détectées lors des traitements. Une des causes est que les ravines de petite taille, qui ne sont pas classées dans l'échantillon de référence parmi les friches, ne sont néanmoins pas retirées de l'analyse. Elles apparaissent alors comme friches après réalisation des traitements, car leur type de végétation est identique à celui des friches.

Les friches herbacées ont été séparées des friches « classiques » pour les traitements car elles sont homogènes et distinctes dans les échantillons de référence. Les échantillons-tests des friches herbacées totalisent 12 ha. La classification permet d'en détecter 221 ha. La photo-interprétation confirme ces surfaces.

La matrice de confusion donne une précision globale de 79%, ce qui est supérieur à l'ensemble des autres méthodes de classification testées mais reste encore insuffisant par rapport à seuil minimal de précision que l'on pourrait fixer à 90%. L'application du filtre majoritaire permet d'augmenter de quatre points la précision globale.

Sur cette zone, les parcelles sont de petite taille, avec des friches éparpillées, et des cultures marginales (maraîchage) également présentes. Il est donc normal, avec une résolution spatiale de 10 m, d'avoir une certaine confusion à cause, entre autres, des nombreux effets de bordure. De plus, les cultures marginales n'ont pas pu être recensées sur le terrain et peuvent constituer des sources d'erreurs lors de la classification.

Sur la zone du Tampon (Figure 10), la classification permet d'identifier 2065 ha de friches grâce à un échantillon de référence de 240 ha. Cette surface importante est due en partie à une très grande surface de végétation buissonnante, qui au sein de cette zone, est située dans le Parc National (non masqué lors des traitements). En effet, on retrouve les mêmes espèces végétales dans cette partie du Parc National et dans les friches environnantes. En éliminant les parcelles situées dans le Parc National, il reste 1326 ha de friches identifiées. La délimitation des aires buissonnantes/boisées est, visuellement, excellente.

Avec deux classes, la précision globale de la matrice de confusion est de 96%, ce qui est le meilleur résultat obtenu pour cette zone, par rapport à ceux obtenus par les autres types de traitements (listés en annexe). Sur le terrain, on observe bien deux catégories majoritaires d'occupation du sol en zone agricole, avec peu d'exceptions. Les parcelles en friches occupent de grandes surfaces bien délimitées. Cependant la méthode détecte les bosquets de buissons installés sur des blocs rocheux à l'affleurement, au sein des parcelles de prairie, qui ne constituent pas des friches à proprement parler car ces surfaces ne sont pas réellement cultivables.

Sur la zone de Saint-Paul (Figure 11), la classification permet d'identifier 4592 ha de friches, à partir de 344 ha de friches dans les échantillons de référence. La délimitation visuelle des friches par rapport à la canne, seule autre classe, est excellente. Les surfaces obtenues, très importantes, ne constituent cependant pas une surprise : en effet, d'immenses surfaces, vers le littoral, n'ont jamais été cultivées, la canne occupant historiquement un espace réduit. Visuellement, on constate néanmoins un important surplus de friches dans les Hauts de Saint-Paul. Les échantillons-tests, trouvés après la délimitation de la zone, ne sont répartis que dans la partie des Bas de Saint-Paul. C'est pourquoi il existe une confusion importante dans la partie des Hauts, qui n'est pas représentative et n'est par conséquent pas représentée sur la figure.

Deux catégories d'occupation du sol ont été détectées lors de nos enquêtes de terrain, avec une précision globale de 97% obtenue avec la matrice de confusion. Notons

la présence de deux espaces verts urbains, observés sur le terrain, qui n'ont pas été classées dans les échantillons de référence. Ces échantillons sont donc ignorés lors du calcul de la matrice de confusion. Ils sont néanmoins détectés comme des friches par la classification. La détection de telles parcelles dans la classe des friches n'est pas prise en compte dans la matrice de confusion, et participe ainsi à la surestimation de la précision globale.

D'une manière générale, les surfaces détectées surestiment la réalité, mais les traitements ont été réalisés de telle sorte à privilégier un excès de friches plutôt qu'un déficit. On peut considérer que les excès sont dus à la présence répétée des espèces présentes dans les friches, sur des parcelles qui ne sont pas effectivement en friches (d'un point de vue foncier). Une délimitation plus stricte des zones de friches potentielles restreinte à la SAU devrait permettre d'exclure des surfaces parasites et d'identifier des surfaces en friches plus réalistes et exploitables. Les résultats sont néanmoins excellents, visuellement et quantitativement, sur les deux zones où on observe deux catégories d'occupation du sol dominantes (Saint-Paul et Le Tampon). La complexité du paysage est la cause d'un résultat un peu plus faible sur Saint-Pierre.

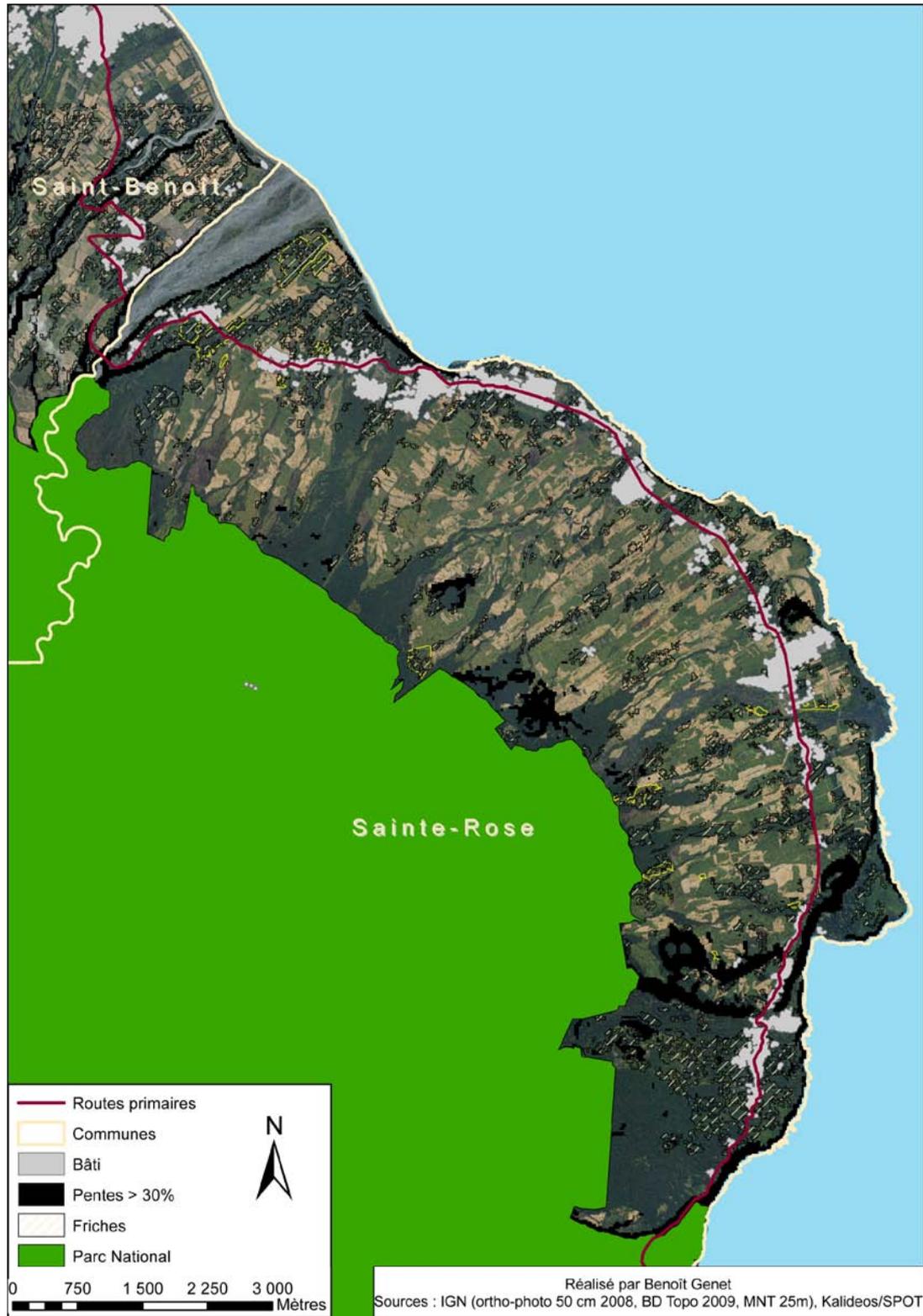


Figure 12 : localisation des friches sur la zone de Sainte-Rose par classification monodate

## 2. Classification monodate sur Sainte-Rose

La cartographie de la classe « Friches » issue des traitements est présentée sur la Figure 12. Au total, 642 ha de friches sont détectés, à partir des 54 ha de friches des

échantillons de référence. Il est beaucoup plus difficile de se faire visuellement une idée de la qualité du résultat : les échantillons de référence ont pour la plupart une très petite superficie. Certains échantillons de plus grande taille sont néanmoins très bien détectés. On constate cependant un surplus de friches détectées à l'extrême Sud de l'image, à proximité des parcelles cultivées en vergers, au milieu la forêt.

La comparaison de la classe « Forêt » obtenue par classification non supervisée avec une interprétation visuelle de l'ortho-photographie est excellente. De plus, aucune parcelle de friches de référence ne se retrouve dans cette classe. C'est que la forêt, absente sur les autres zones étudiées, peut être distinguée aisément des friches sur la base de sa signature spectrale. En effet, une analyse en composantes principales sur les moyennes de chaque bande au sein des polygones de référence (figure 10), confirme l'existence d'un groupe d'individus de type forêt nettement distincts des autres.

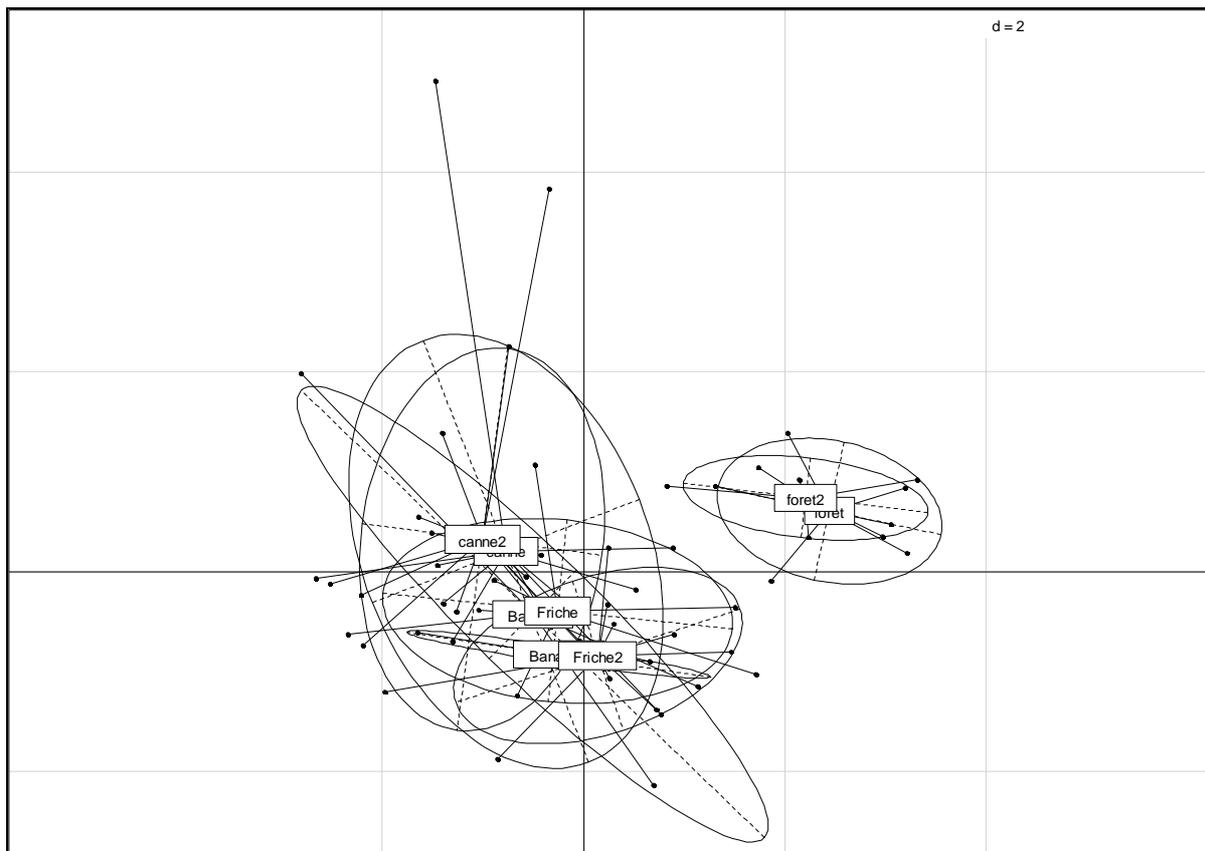


Figure 13 : Représentation des individus des échantillons de référence de la zone de Sainte-Rose par ACP

De la même manière, la classification supervisée par maximum de vraisemblance permet d'identifier les parcelles de canne avec une très bonne précision (87%).

La classification supervisée avec quatre classes donne des résultats moyennement satisfaisants (72% de précision globale). L'apposition des masques réalisés précédemment pour les deux catégories « Forêt » et « Canne » permet de supprimer un grand nombre de pixels mal identifiés par cette classification.

### 3. Classification Ascendante Hiérarchique

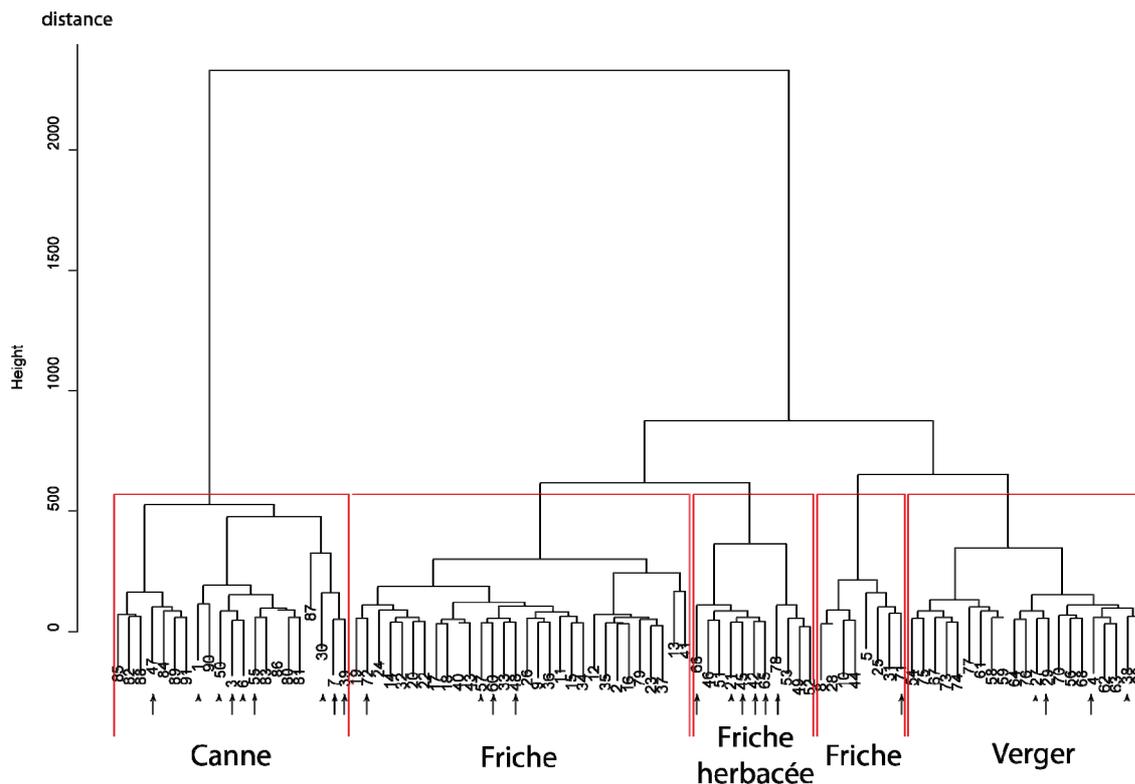
Une CAH a été réalisée pour les échantillons de référence de chaque zone. Les meilleurs résultats (mais avec deux classes attendues seulement) sont ceux obtenus sur les zones du Tampon (figure 14-C) et de Saint-Paul (figure 14-B). La hauteur de dissimilarité entre les deux groupes obtenus est très importante, ce qui signifie que les deux classes sont très dissemblables radiométriquement.

Pour chaque zone, nous utilisons des individus-polygones qui correspondent aux polygones de référence. Leur répartition dans les différentes classes est donnée dans le Tableau 3.

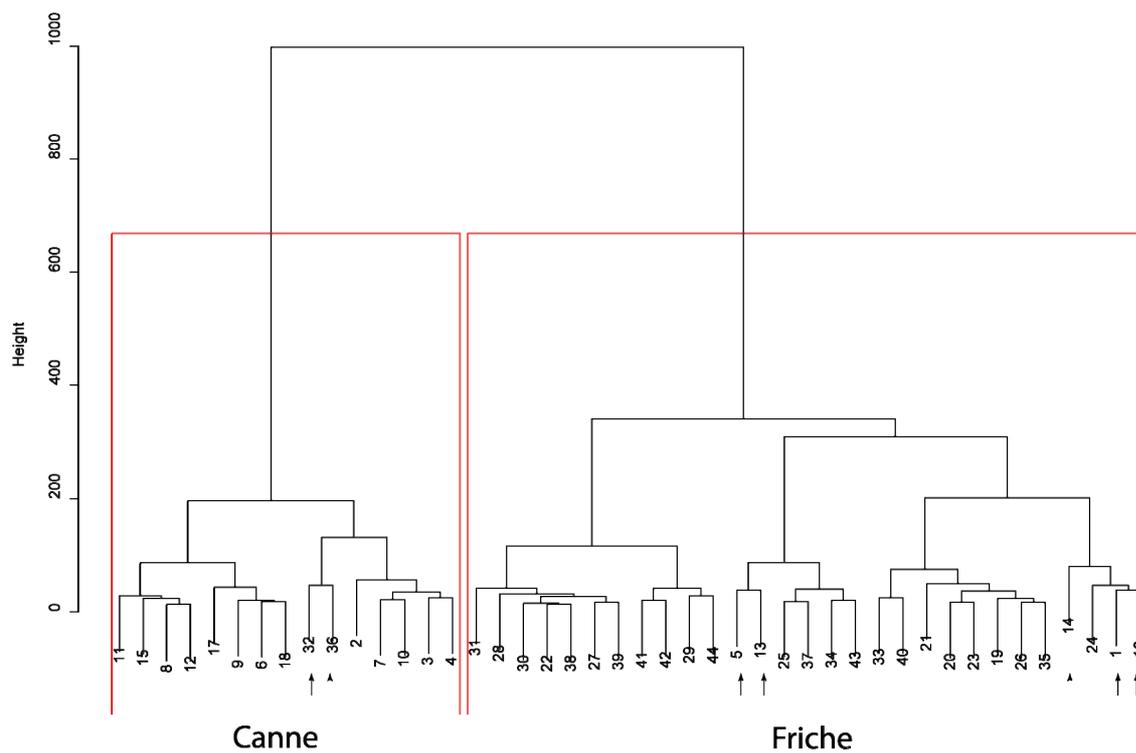
	Saint-Pierre	Saint-Paul	Le Tampon	Sainte-Rose
Friche	1 à 45	19 à 44	1 à 39	8 à 25
Friche herbacée	46 à 53			
Canne	80 à 91	1 à 18		26 à 52
Verger	54 à 79			
Bananaeraie				1 à 7
Prairie			40 à 57	
Forêt				53 à 64

Tableau 3 : Appartenance des individus aux différentes classes

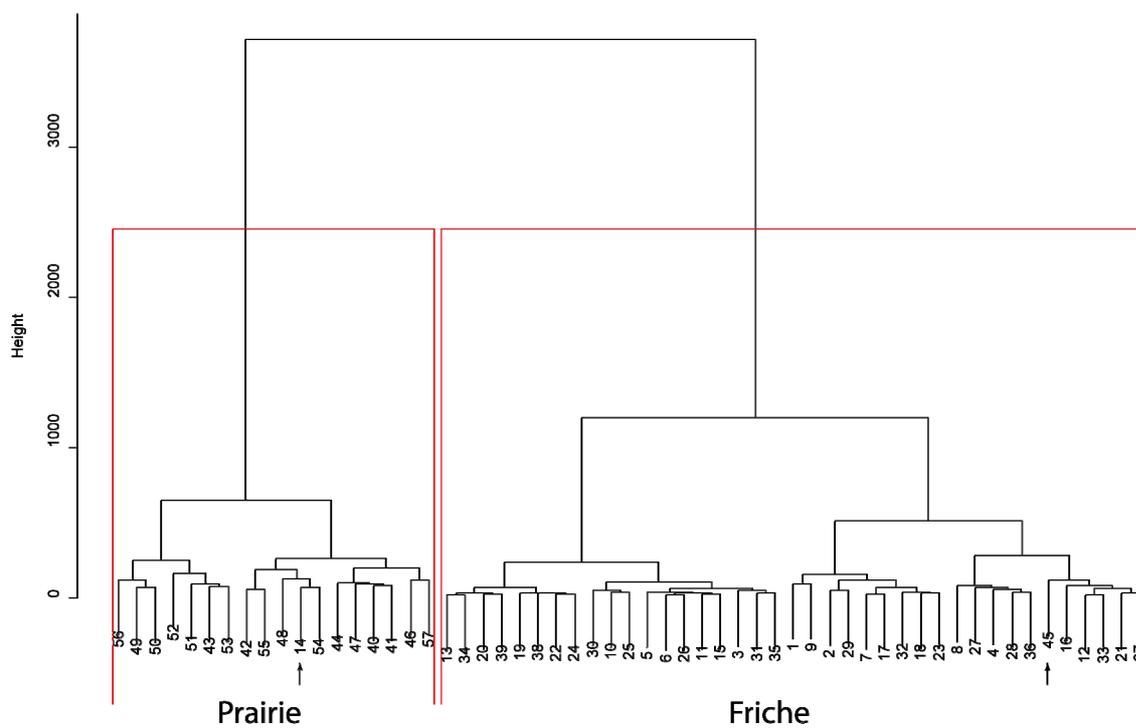
Les dendrogrammes obtenus pour chaque zone sont présentés dans la figure 14. Nous vérifions que les dendrogrammes permettent d'isoler des groupes d'individus correspondant à des friches. Les flèches pointent vers les individus qui sont mal classés, c'est-à-dire qui n'appartiennent pas à la même classe (connue) que les individus du groupe dans lesquels ils se trouvent après traitement.



(A)



(B)



(C)

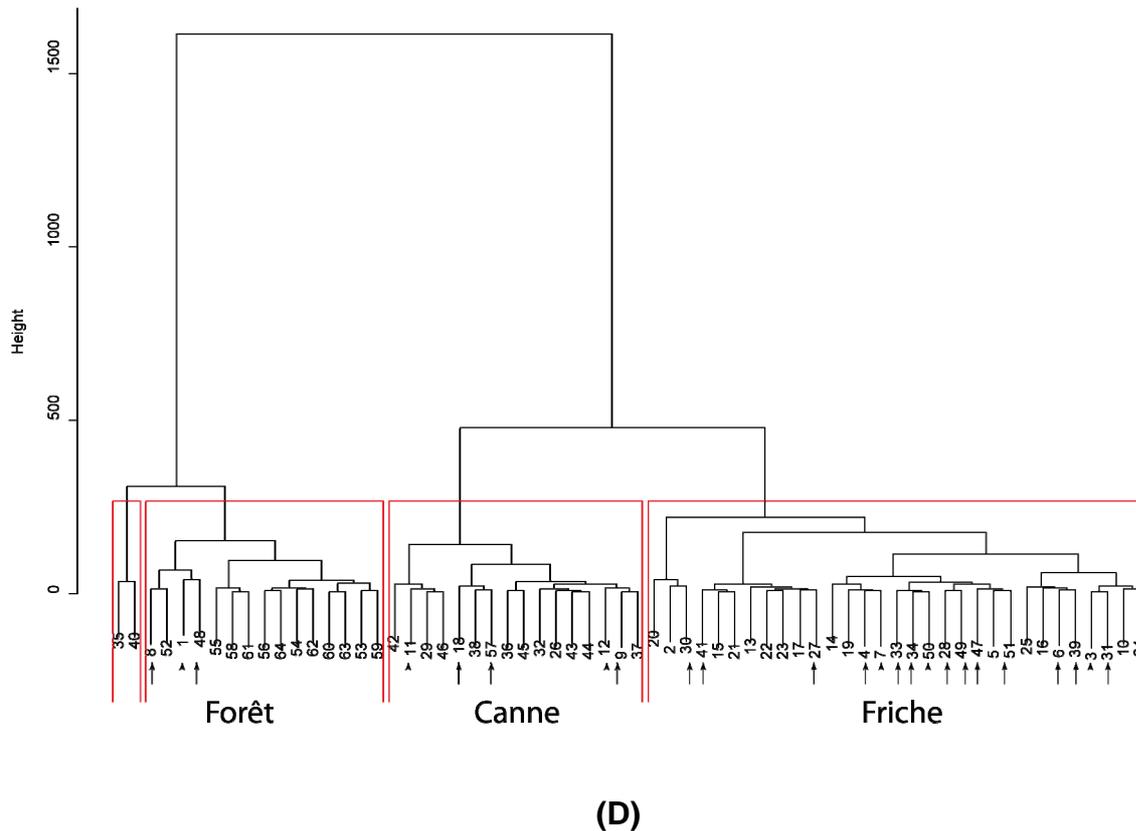


Figure 14 : Dendrogrammes de répartition des polygones de référence, pour Saint-Pierre (A), Saint-Paul (B), Le Tampon (C) et Sainte-Rose (D)

Sur les zones de Saint-Paul (figure 14-B) et du Tampon (figure 14-C), nous obtenons ainsi un taux de réussite de 83% et 97% respectivement, correspondant aux individus connus comme appartenant à la classe « Fiches » de référence. Les valeurs des moyennes des bandes permettent donc de séparer correctement les friches et la canne/les prairies. Notons qu'après vérification sur l'ortho-photo, ces parcelles ne présentent pas autant de garantie d'appartenance aux classes supposées que les autres parcelles. Il est donc possible que ces deux parcelles aient été mal identifiées à l'origine.

Sur la zone de Saint-Pierre (figure 14-A) les deux groupes identifiés comme étant des friches comportent 33 individus correspondant à la classe « Fiches » de référence, sur les 38 individus de ces groupes, soit 87% d'individus bien classés.

Enfin, sur Sainte-Rose (figure 14-D), 15 des 31 individus du groupe « Fiches » sont bien des individus de la classe « Fiches » de référence, soit 48%. Ce faible résultat peut être mis en relation avec le fait qu'une seule date était disponible pour cette zone.

Un nombre suffisant de dates est donc nécessaire pour obtenir de bons résultats. En revanche, un nombre de classes élevé peut mener à un résultat correct (exemple de Saint-Pierre).

Notons toutefois des résultats satisfaisants malgré un nombre de classes élevé dans certains cas (zone de Saint-Pierre). Les résultats ne prennent cependant pas en compte les erreurs d'omission, qui correspondent aux individus de la classe « Fiches » qui se retrouvent dans les autres groupes.

### C. Comparaison des méthodes de traitement

Afin de comparer les méthodes, nous avons calculé un taux de réussite d'identification des friches calculé comme le nombre de polygones de friches de référence qui se retrouvent bien classés au final.

Afin de comparer les méthodes équitablement, les friches de référence qui sont masquées lors des traitements, ainsi que celles dont la surface est inférieure aux seuils fixés lors des masquages de post-traitement (élimination des pixels isolés), sont exclues des calculs. Les résultats sont données dans le Tableau 4.

La méthode 1 se réfère à la classification multodate, la méthode 2 est la classification monodate, et la méthode 3 est la CAH.

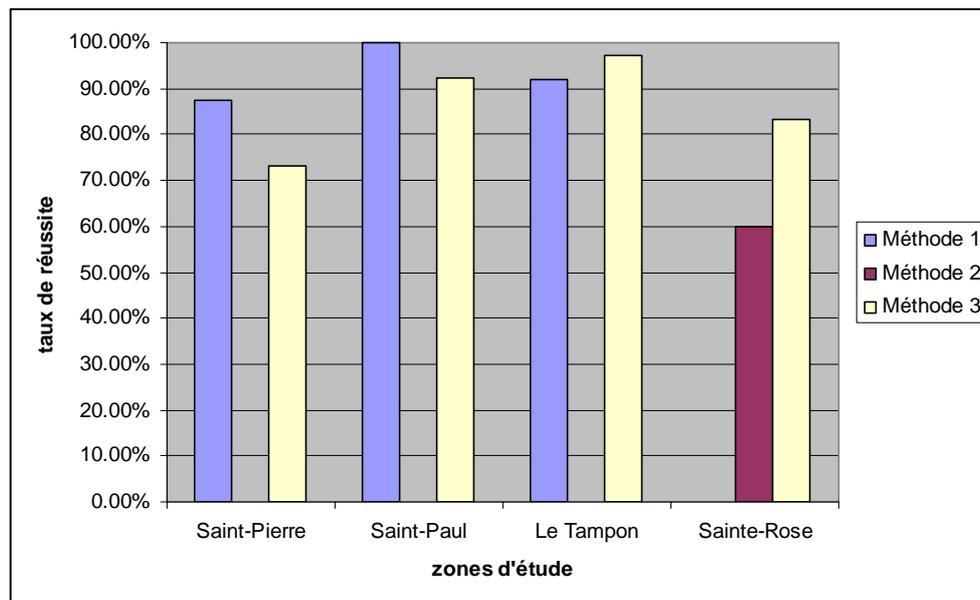


Figure 15 : nombre de polygones de friches de référence correctement classés sur leur nombre total

Aucune méthode n'est meilleure que les autres dans toutes les zones. En revanche, la méthode 1 (classification sur les séries temporelles) a un pourcentage de réussite toujours supérieur à 87%, tandis que la troisième méthode peut donner des résultats inférieurs.

Rappelons toutefois que d'autres manières de comparer les résultats obtenus sont nécessaires pour valider définitivement l'une méthode par rapport aux autres.

### D. Limites des méthodes testées

Les résultats (taux de réussite) pour Saint-Paul et Le Tampon sont très satisfaisants. Il n'existait pas de description des friches disponible. Il se trouve que les catégories sont proches de celles du projet TEMOS. A Saint-Paul, la « Savane herbeuse sèche », la « Forêt et formations arborées » et la « Végétation arbustive et buissonnante » du projet TEMOS correspondent assez bien aux catégories observées sur le terrain, avec pour rappel une végétation mixte herbacée/buissonnante vers le littoral et une végétation arborée/buissonnante à partir de quelques centaines de mètres. Cependant, il n'existe pas de transition très nette entre les différentes catégories, c'est pourquoi elles ont été regroupées lors de la détection des friches sur Saint-Paul, d'autant plus que les résultats

donnent raison à ce regroupement. A l'échelle de l'Île, il faudrait en revanche redéfinir les limites entre les différents types de friches.

La surestimation des surfaces en friches, sur toutes les zones sauf celle du Tampon, est due en premier lieu à une confusion entre la végétation des friches et la végétation des ravines. Les friches et les ravines étant la plupart du temps composées des mêmes espèces végétales, il est évident qu'elles sont indissociables par télédétection. Il serait donc nécessaire de disposer d'un MNT précis (de l'ordre de 5 m) afin de masquer correctement les écarts locaux de relief, en particulier au niveau des ravines, et ne conserver que les friches.

On pourrait espérer, avec une meilleure résolution spatiale (par exemple en exploitant des images panchromatiques à 2,5 m de résolution), trouver un paramètre de texture distinguant les friches sur la base de leur hétérogénéité, par rapport aux cultures linéaires (vergers, maraîchage). La faible résolution spectrale des images panchromatiques ne constitue en outre pas une limite à partir du moment où n'étudie que leur texture.

La CAH permet la création éventuelle de groupes qui n'appartiennent pas aux catégories pré-définies, car sa construction est indépendante des échantillons de référence. En outre, que la signification thématique des classes peut être difficile à définir. En revanche, dans le cas des friches, à partir du moment où les individus-friches de référence sont correctement regroupés, on peut ignorer les autres groupes, ce qui permet d'éliminer des individus qui n'appartiennent ni aux friches ni aux autres classes en entrée. Cette méthode a donc l'avantage d'être plus restrictive que les autres méthodes proposées et de se focaliser sur une classe donnée, mais uniquement en cas d'homogénéité des parcelles de friches (moyennes radiométriques suffisamment similaires).

Nous proposons une méthode pour généraliser la CAH sur l'ensemble des zones-tests :

- segmenter la zone, et vectoriser le résultat (réalisable par exemple avec l'application Monteverdi). On obtient ainsi un ensemble de polygones qui seront traités comme individus.
- réaliser une CAH. Identifier le/les groupes créés correspondant à des friches à partir de la présence en leur sein d'individus de référence. On considère alors que ce groupe correspond aux friches, et donc que les polygones qui le composent sont tous des friches.
- reporter les résultats sur la carte, c'est-à-dire retrouver les polygones qui ont été regroupés dans la classe des friches par CAH, et ainsi cartographier les polygones en friches.

En outre, il est possible d'automatiser le traitement, à condition que les seuils de distance permettant de séparer les différents groupes des parcelles de référence soient les mêmes que sur l'ensemble de la zone.

Les nuages empêchent la réalisation d'un traitement diachronique efficace. Certaines méthodes utilisées ou envisagées seraient peut-être applicables dans d'autres régions du monde (en l'absence de nuages).

Nous avons manqué de temps pour revenir sur des types de méthodes testées à titre exploratoire mais vite éliminées faute de résultats intéressants, même si elles nous semblaient plus pertinentes. En particulier, la différentielle image/image et l'analyse texturale sont des pistes qui mériteraient d'être re-évaluées. Des critères (dates retenues,

choix des zones d'étude notamment) identiques ont été appliqués pour l'ensemble des traitements, afin de pouvoir les comparer équitablement, mais il serait judicieux de les ajuster aux différentes zones, par exemple, ou de modifier le nombre de dates utilisées, ou de reprendre la segmentation, et d'appliquer l'analyse texturale sur des images panchromatiques à 2,5 m (disponibles dans la base Kalideos).

Rapport-Gratuit.com

## Conclusion

Les méthodes proposées reposent sur l'analyse des bandes spectrales de cinq images SPOT acquises en 2008. Elles ont été testées sur quatre zones distinctes de l'Île de La Réunion. Une classification supervisée par maximum de vraisemblance réalisée sur un empilement des bandes de différentes dates donne de bons résultats (taux de réussite de 79% à 97%). Une classification ascendante hiérarchique permet d'obtenir des résultats similaires. En revanche, lorsqu'une seule image est disponible, nous devons procéder par élimination, lorsque certaines classes sont aisément distinguables par des classifications supervisées ou non supervisées.

A partir des résultats obtenus pour ces traitements, il serait possible de cartographier les friches sur l'ensemble de l'Île. Nous proposons de diviser le territoire en plusieurs parties, dont les facteurs climatiques et la végétation sont bien distincts. Les Bas de La Réunion, où est cultivée la canne, sous la courbe des 800 m d'altitude, peuvent se diviser en une partie sèche, à l'Ouest, et une partie humide, à l'Est. Les Hauts de La Réunion occupent le territoire situé au-delà de 800 m d'altitude. Une méthode unique peut être utilisée, ou bien une méthode différente pour chaque partie, parmi celles qui ont été présentées.

Les résultats, bien que satisfaisants, restent perfectibles. Une des spécificités des images satellites prises sous les latitudes tropicales est la couverture nuageuse très fréquente. Or, les images Radar ont la particularité d'être indépendantes de ce facteur. Elles pourraient présenter une alternative intéressante en compensant les faiblesses des images satellite. Néanmoins, des études préliminaires menées sur la canne à sucre à l'aide du Radar TerraSAR X n'ont pas donné de résultats exploitables (Boyer 2008; Cresson 2009). A cela s'ajoute la haute complexité d'utilisation de cet outil très exigeant, et son champ d'action réduit.

D'autres moyens pourraient permettre de mieux exploiter, notamment, la texture. Des images THRS (Très Haute Résolution Spatiale), telles les images Quickbird disponibles pour certaines parties de La Réunion, détectent mieux les variations locales de hauteur de canopée. Le domaine de l'hyperspectral, détaillant le spectre des images plus en détails, permettrait également de distinguer les espèces arborées cultivées de celles présentes dans les friches.

## Liste des Figures

Figure 1 : Carte de répartition des cultures de canne à sucre, courbe de niveau des 800 m et pluviométrie .....	2
Figure 2 : Parcelles typiques des deux formes d'agriculture dominantes de La Réunion : canne à sucre (plantation Isautier à Saint-Pierre) et prairie (élevage bovin à la Plaine des Cafres).....	4
Figure 3 : Evolution des surfaces cultivées en canne à sucre à La Réunion.....	4
Figure 4 : Localisation des zones d'étude.....	6
Figure 5 : Schéma synthétique de la chaîne de traitements des données.....	13
Figure 6 : Analyse de séries temporelles d'images par classification supervisée : exemple sur la zone de Saint-Pierre .....	16
Figure 7 : Traitement monodate : exemple sur la zone de Sainte-Rose.....	18
Figure 8 : exemples de friches. A : friche mixte à Saint-Paul. B : friche caractéristique de la zone de Saint-Pierre ; C : friche de la Plaine des Cafres, au Tampon : prairie au premier-plan, et friche buissonnante au second-plan.....	21
Figure 9 : localisation des friches sur la zone de Saint-Pierre par classification supervisée multodate .....	22
Figure 10 : localisation des friches de la zone du Tampon par classification supervisée multodate..	23
Figure 11 : localisation des friches de la zone de Saint-Paul par classification supervisée multodate .....	24
Figure 12 : localisation des friches de la zone de Sainte-Rose par classification monodate .....	26
Figure 13 : Représentation des échantillons de référence de la zone de Sainte-Rose par ACP.....	27
Figure 14 : Dendrogrammes de répartition des polygones de référence pour Saint-Pierre (A), Saint-Paul (B), Le Tampon (C) et Sainte-Rose (D).....	30
Figure 15 : nombre de polygones de friches de référence correctement classés sur leur nombre total.....	32

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Sélection des images exploitables.....	11
Tableau 2 : exemple de tableau permettant de réaliser une CAH.....	19
Tableau 3 : Appartenance des individus aux différentes classes .....	29

**Bibliographie**

**Articles et rapports :**

- Boyer, N. (2008). Analyse du potentiel des capteurs RADAR en bandes C et X pour la caractérisation des états de surface agricole : application à la culture de la canne à sucre de La Réunion, Université Paris 7.
- Congalton, R. G. (1991). "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data." Remote Sensing of Environment **37**: 35-46.
- Cresson, R. (2009). Etude du potentiel du capteur radar TerraSAR en bande X pour le suivi de la culture de canne à sucre sur l'île de La Réunion, INP Grenoble.
- De Boissezon, H. and A. Sand (2006). Reference remote sensing data bases: temporal series of calibrated and orthorectified satellite images for scientific use. 2nd International Symposium on the Recent Advances in Quantitative Remote Sensing (RAQRS). Barcelona (Spain).
- Dedieu, J.-P., F. Bornicchia, et al. (1997). "Apport des informations de texture en télédétection pour l'étude de l'occupation des sols." Revue de géographie alpine **85**(3): 9-26.
- Fer, N. (1994). La dynamique de la friche dans l'utilisation de l'espace agricole : Méthode et résultats (le cas du Pays d'Auge). Caen, Université de Caen.
- Foody, G. M. (2002). "Status of land cover classification accuracy assessment." Remote Sensing of Environment **80**: 185-201.
- Guerschman, J. P., J. M. Paruelo, et al. (2003). "Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data." International Journal of Remote Sensing **24**(17): 3381-3402.
- Haralick, H. M. (1973). "Textural features for image classification." IEEE Transactions on Systems: Man and Cybernetics **3**(6): 610-621.
- Haralick, R. M. (1979). "Statistical and structural approaches to texture." IEEE Transactions **67**(5): 786-804.
- Jürgens, C. (1993). "Monitoring of permanent fallow land parcels funded by the EEC-temporary set-aside arable land program with remote-sensing." EARSeL Advances in Remote Sensing **2**(3): 121-129.
- Khreim, J.-F. (1995). Caractérisation et suivi par télédétection spatiale de la végétation et de l'occupation des terres en région méditerranéenne. Possibilités et limites à travers le cas de la Syrie maritime., Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille.
- Lagabrielle, E. (2003). Télédétection des changements et SIG - Application à l'étude de l'évolution des modes d'occupation des sols à La Réunion entre 1989 et 2002. Master SILAT.
- Lagabrielle, E., P. Metzger, et al. (2007). "Les dynamiques d'occupation du sol à la Réunion (1989-2002)." Mappemonde **86**.
- Mas, J.-F. (1999). "Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques\*." International Journal of Remote Sensing **20**(1): 139-152.
- Mather, P. M. (1999). Computer processing of remotely-sensed images: an introduction, Chichester: John Wiley.
- Pal, M. and P. M. Mather (2003). "An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification." Remote Sensing of Environment **86**: 554-565.
- Pu, R., P. Gong, et al. (2008). "Using classification and NDVI differencing methods for monitoring sparse vegetation coverage : a case study of saltcedar in Nevada, USA." International Journal of Remote Sensing **29**(13-14): 3987-4011.
- Ruelland, D., F. Laurent, et al. Spatialisation des successions culturelles par télédétection à partir d'images SPOT.
- Shao-Jun, L., Z. Jing-Hong, et al. (2008). Detection of Fractional Vegetation Cover changes using MODIS data. Congress on Image and Signal Processing, Sanya, Hainan, China.
- Singh, A. (1989). "Digital change detection techniques using remotely sensed data." International Journal of Remote Sensing **10**(6): 989-1003.
- Sparfel, L., F. Gourmelon, et al. (2008). "Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière." Revue Télédétection **8**(4): 237-256.

**Sites Internet :**

<http://flore.cbnm.org> : recherche des noms scientifiques des plantes à partir des noms vernaculaires créoles

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais> : dictionnaire Larousse en ligne

### Liste des sigles et acronymes

CIRAD : Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales

CTICS : Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre de l'Île de la Réunion

DAF : Direction de l'Agriculture et de la Forêt

DIREN : Direction Régionale de l'ENVironnement

eRcanne : ex-Cerf (Centre d'Essai, de Recherche et de Formation), centre de recherche et groupement d'intérêt économique dont les membres sont les deux sociétés sucrières réunionnaises : Sucrière de La Réunion (Groupe Quartier Français) et Sucrierie de Bois Rouge (Groupe Tereos)

KALIDEOS : programme du CNES ayant pour objectif le développement de bases de données de télédétection de référence

MIR : Moyen Infra-Rouge

PIR : Proche Infra-Rouge

SAFER : Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural

SAU : Surface Agricole Utilisée

SIG : Système d'Information Géographique

SPOT : Satellite Probatoire d'Observation de la Terre

SUCRETTE (projet) : développement d'un outil d'aide à la gestion de production de canne à sucre par télédétection

TEMOS (projet) : Télédétection pour l'Etude des Modes d'Occupation des Sols.

TEREOS : groupe agro-industriel coopératif français spécialiste de la première transformation de la betterave, de la canne et des céréales. Né en 2003 de la fusion de Beghin-Say, de l'Union SDA et de l'Union BS.

THRS : Très Haute Résolution Spatiale

## Annexes

### **Définitions et notes sur les friches des art. L128-3 à L128-12 et R.128-1 à R.128-10 du Code Rural (document transmis par Yves Durand de la SAFER Réunion).**

#### **I. - DEFINITION de l'ETAT d'INCULTURE.**

Est réputée inculte, la parcelle cadastrale sur laquelle aucune spéculation agricole n'a été pratiquée depuis plus de 3 ans soit par le propriétaire ou par tout titulaire du droit d'exploitation. Ce délai est réduit à 2 ans dans les zones de montagne délimitées conformément au décret n° 75-202 du 18 Mars 1975 à l'arrêté Interministérielle en date du 18 Mars 1975 et à la loi du 09 Janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne.

#### **II. - DEFINITION de l'ETAT de SOUS-EXPLOITATION MANIFESTE.**

Est réputée manifestement sous-exploitée, dans les mêmes conditions de délais, la parcelle cadastrale comportant au moins une des caractéristiques suivantes :

- ⇒ moins de 80 % de la Surface Totale de la parcelle mise en valeur et entretenue, excluant les zones touchées par une interdiction de défricher.
- ⇒ rendement constaté sur la parcelle inférieur de 50 % au rendement moyen établi par les références techniques et économiques en vigueur sur le Département.
- ⇒ toute pratique d'exploitation incompatible avec une gestion en bon père de famille.

#### **I. - NOTION de MISE en VALEUR.**

Ne constitue pas une mise en valeur du fonds le défrichement ou le labourage de parcelle non suivis de plantations ou de toute autre mise en place de spéculation agricole.

En application de l'article L 128-4 alinéa 6 du Code Rural, le **PREFET fixe les conditions de la mise en valeur.**

Aussi, on entend par mise en valeur, la réalisation de l'ensemble des pratiques culturales définies selon la production en place par les opérations suivantes :

##### **1. Terres de cultures :**

- ⇒ les opérations de travail du sol conformes aux usages,
- ⇒ épandage des engrais ou amendements réputés nécessaires,
- ⇒ la réalisation du semis ou de la plantation à la densité conforme aux pratiques courantes,
- ⇒ l'entretien courant de la culture (taille, désherbage, sarclage, etc...).

##### **2. Prairies :**

Dans le cas où la parcelle est occupée par une prairie, la mise en valeur doit être justifiée par la pratique de la fauche ou, s'il s'agit de pâturage, par le passage périodique d'animaux herbivores, l'élimination des refus, des adventices, des végétaux ligneux, ainsi que des pestes végétales.

##### **3. Production de végétaux sauvages :**

Dans le cas où la parcelle est occupée par des végétaux sauvages, notamment producteurs de fruits comestibles, la mise en valeur doit être justifiée par des opérations de fertilisation, de taille et d'aménagement d'accès destinées à faciliter la cueillette, ainsi que la récolte effective des parcelles en production.

##### **4. Jachères :**

Une parcelle occupée par une jachère peut être considérée comme mise en valeur si les conditions suivantes sont remplies simultanément:

- ⇒ la superficie en jachère est inférieure ou égale au tiers de la superficie totale,
- ⇒ l'âge de la végétation en jachère n'excède pas 4 ans,
- ⇒ la superficie restante (au moins 2/3) est occupée par la culture entrant dans le système de production à base de jachère.

#### **➤ En ce qui concerne le défrichement, le débroussaillage et la lutte contre l'érosion :**

1. Obtenir systématiquement **une autorisation de défrichement, débroussaillage**, conformément aux articles L.363-2 et suivants et R.363-2 et suivants du Code Forestier;
2. En tout état de cause, **il est interdit de défricher, débroussailler sur des pentes supérieures ou égales à 30 grades (correspondant à 51 % - art. R.363-7 du Code Forestier) :**
3. Conformément à l'article L.130-1 du Code de l'Urbanisme, **tout défrichement, débroussaillage sont interdits dans les zones classées EBC (Espace Boisé Classé) au POS ou PLU ;**
4. Ne pas défricher, débroussailler, ni mettre en valeur la surface de terrain qui borde les rivières ou les ravines sur une largeur de **dix mètres en projection horizontale**, ainsi qu'aux abords des sources ou des captages d'eau dans **un rayon de 100 mètres** (art. R.363-7 du Code Forestier).

## **Typologie Corine Biotope de l'Union Européenne pour les terrains en friches dans les Départements d'Outre-Mer**

87.00 friches et terrain rudéraux

87.10 terrains en friches

87.19 terrains en friches DOM

87.191 savanes herbacées

87.1911 savane à *Themeda quadrivalvis*

87.1912 jachère à *Panicum maximum*

87.1913 savane à *Heteropogon contortus*

87.1914 savane à *Heteropogon contortus*

87.1915 savane à *Aristida setacea*

87.192 savanes arbustives

87.1921 savane à *Pithecellobium dulce* et *Albizia lebbbeck*

87.1922 savane à *Furcraea foetida*

87.193 fourrés secondaires de diverses espèces exotiques à tendance semi-xérophile

87.1931 fourrés secondaires à *Prosopis juliflora*

87.1932 fourrés secondaires à *Dicrostachys cinerea*

87.1933 fourrés secondaires à *Leucaena leucocephala*

87.1934 fourrés secondaires à *Leucaena leucocephala*, *Litsea glutinosa* et *Albizia lebbbeck*

87.1935 fourrés secondaires à *Schinus terebinthifolius*

87.1936 fourrés secondaires à *Schinus terebinthifolius* et *Furcraea foetida*

87.1937 fourrés secondaires à *Hiptage benghalensis*

87.1938 fourrés secondaires à *Pteridium aquilinum*

87.1939 végétation riveraine secondaire de basse altitude

87.194 boisement secondaires de diverses espèces exotiques à tendance xérophile

87.1941 boisement à *Pithecellobium dulce*

87.1942 boisement à *Casuarina equisetifolia*

87.1943 boisement à *Tamarindus indica*

87.195 fourrés secondaires plus ou moins hygrophiles

87.1951 fourrés secondaires à *Rubus alceifolius*

87.1952 formations secondaires à *Syzygium jambos*

87.1953 formations secondaires hétérogènes à *Syzygium jambos*

87.1954 formations secondaires à *Psidium cattleianum*

87.1955 fourrés secondaires hétérogènes à *Psidium cattleianum*

87.1956 formations secondaires à *Acacia mearnsii*

87.1957 fourrés secondaires d'altitude à *Ulex europaeus*

87.20 zones rudérales

## **Liste des méthodes testées**

La première méthode utilisée est la détection des invariants, en suivant l'évolution du NDVI au cours de l'année.

Les friches étant relativement homogènes dans la plupart des cas au niveau des espèces présentes, les recherches ont été portées sur leur signature spectrale unique supposée (pour chaque catégorie de friche).

Voici une liste des différentes méthodes testées :

- **classification supervisée par le maximum de vraisemblance**, sur une image regroupant les bandes radiométriques de toutes les images disponibles
- classification non supervisée : méthode statistique basée sur le regroupement des pixels dans des classes spectrales générées mathématiquement
- combinaison de résultats de classifications supervisées
- combinaison de résultats de classifications supervisées, puis seuillage manuel sur une seule image brute (par exemple octobre 2008) pour éliminer certaines catégories d'occupation du sol spécifiques visuellement
- combinaison de résultats de classifications non supervisées
- combinaison des néo-canaux de NDVI sur une seule image
- combinaison multi-dates par différentielle bande par bande, puis ACP et enfin seuillage bande par bande
- différentielle multi-dates sur les NDVIs
- différentielle multi-dates sur les bandes MIR (qui permettent normalement de détecter correctement la canne, com. pers. Agnès Bégué)
- seuillage manuel sur chaque bande radiométrique
- classification texturale (homogénéité, dissimilarité associé aux bandes de l'image choisie) appliquée sur les images brutes, ou sur la différentielle image/image, après ACP. Implique des variations des paramètres : taille de la fenêtre, taille du noyau.
- **élimination de certaines classes dominantes (forêt, canne) par classification non supervisée et supervisée.** (traitement spécifique à Sainte-Rose, où un traitement monodate s'imposait car une seule date était disponible).
- **classification ascendante hiérarchique**