

Cartographie de l'avancement de la récolte de la canne à sucre par télédétection

Pauline Seigne, Nathalie Boyer, Pierre Todoroff, Louis Paulin⁽¹⁾

⁽¹⁾CIRAD, Station de Ligne Paradis, 7 chemin de l'IRAT, 97410 Saint-Pierre
pauline.seigne@cirad.fr

Résumé

L'organisation de la récolte de la canne à sucre est un problème d'optimisation logistique complexe car, la teneur en sucre dans les tiges des cannes diminue rapidement une fois la canne coupée. Les usines doivent donc traiter celle-ci dans un temps restreint afin que la production en sucre soit rentable, tout en respectant des seuils de livraison de canne journaliers minimaux et maximaux.

Afin de venir en appui à ses partenaires de la filière canne à sucre, le CIRAD (Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement) a mis en place un programme de suivi de la récolte des parcelles de canne à sucre par imagerie satellitaire à l'île de La Réunion.

Dans cet article, nous présentons une méthodologie de cartographie des surfaces récoltées basée sur l'utilisation d'une série temporelle d'images satellites SPOT acquise tout au long de la campagne (juin à décembre) et d'un algorithme de classification non supervisée.

Dans un premier temps, les parcelles récoltables avant campagne sont identifiées grâce à une classification non supervisée. Dans un deuxième temps, le même type de classification est utilisé afin d'identifier les surfaces coupées et non coupées pour chaque date d'acquisition d'image. Un bilan de l'avancement des surfaces coupées est réalisé.

Les résultats ainsi obtenus pour chaque année (2009, 2010 et 2011) sont présentés. La précision de ces derniers est évaluée à partir des données de volumes de canne livrés dans les centres de réception.

Mots-clés : canne à sucre, images satellite haute résolution, suivi de coupe, classification non supervisée.

Introduction

Les séries temporelles d'images satellites permettent aujourd'hui le suivi de l'évolution des surfaces terrestres. Les applications peuvent être multiples (suivi de biomasse, couverture agricole, catastrophes naturelles, etc...). Ces séries d'images à haute résolution spatiale sont particulièrement intéressantes pour des applications agricoles à l'échelle de la parcelle (El Hajj, 2008).

A La Réunion, la culture de la canne à sucre est un pilier de l'économie de l'île. L'organisation de la récolte de la canne à sucre constitue un problème d'optimisation logistique complexe : la teneur en sucre dans les tiges des cannes diminue rapidement une fois la canne coupée ; les usines doivent donc traiter celle-ci dans un temps restreint afin que la production en sucre soit rentable, tout en respectant des seuils de livraison de canne journaliers minimaux et maximaux.

Afin d'améliorer la production de canne, l'un des besoins exprimé par la filière est de connaître la répartition géographique des surfaces coupées et à couper.

Auparavant, peu de travaux ont étudié le potentiel des données de télédétection pour le suivi des coupes de canne à sucre. Johnson et Kinsey-Henderson (1997) sont parvenus à cartographier les parcelles de canne à partir de données SPOT mais sans réussir à discriminer les différentes variétés. A ce sujet, Gers et Al. (2001) ont montré que l'utilisation des données issues du même satellite pour la cartographie de l'avancement de la coupe de canne à sucre pouvait être limitée par la résolution du capteur et la fréquence d'acquisition des images.

Plus récemment et dans le contexte du projet SUCRETTE, Bégué *et al.* (2004) ont étudié les potentialités de la télédétection pour la gestion de la canne à sucre. Les auteurs ont élaboré une cartographie de la coupe de canne à sucre à partir des capteurs SPOT 4 et 5 et d'un algorithme de classification supervisée. La méthodologie présente un taux de pixels bien classés égal à 90%.

En s'appuyant sur cette étude, un produit opérationnel a été développé pour le suivi des surfaces de canne récoltées.

Nous présentons ici une méthodologie basée sur une série temporelle d'images SPOT 4 et un algorithme de classification non supervisée qui permet d'extraire les taux de coupes tout au long de la campagne de récolte. Nous mettons en application cette méthodologie sur l'île de La Réunion et présentons les résultats obtenus pour les années 2009, 2010 et 2011.

Matériel et méthode

Site d'étude

L'île de La Réunion est un département français d'outre-mer dans le Sud Ouest de l'océan Indien. Elle est située à 800 km à l'Est de Madagascar dans l'archipel des Mascareignes. D'une superficie de 2 512 km², cette île présente un relief escarpé à l'exception des zones côtières. Le climat de l'île est de type tropical avec l'existence de deux saisons : sèche (mai à octobre) et humide (novembre à avril).

La canne à sucre

La canne représente 57% de la surface agricole utilisée. Cette île est le premier département français producteur de sucre avec pas moins de 3 400 exploitants sur 25 000 hectares (Agreste réunion, 2011). La filière est caractérisée par la présence majoritaire de planteurs avec des exploitations de taille moyenne (5 à 10 ha) (El hajj, 2008). La canne à sucre est cultivée sur une même parcelle durant plusieurs années consécutives. Lors de la récolte, la tige est coupée au ras du sol et la souche laissée en place produit de nouvelles pousses. Au cours des 5 à 6 récoltes successives qui se font à partir de la même plantation, le rendement à la parcelle tend à diminuer et le champ est généralement replanté avec de nouvelles boutures (nouveau cycle cultural) (Bégué *et al.*, 2005) (Figure 1).

A La Réunion, la récolte s'étale sur environ 6 mois (de juillet à décembre). Une fois coupée, la canne doit être traitée en usine dans les 48 heures qui suivent pour éviter la dégradation du saccharose qui nuit au processus industriel de cristallisation du sucre. Les cannes coupées sont envoyées vers 13 centres de réception puis acheminées aux usines. L'organisation de la récolte et les statistiques de production sont fortement structurées selon cette répartition (Figure 2). Nous étudierons donc les résultats à l'échelle de ces centres de réception et de l'île entière.

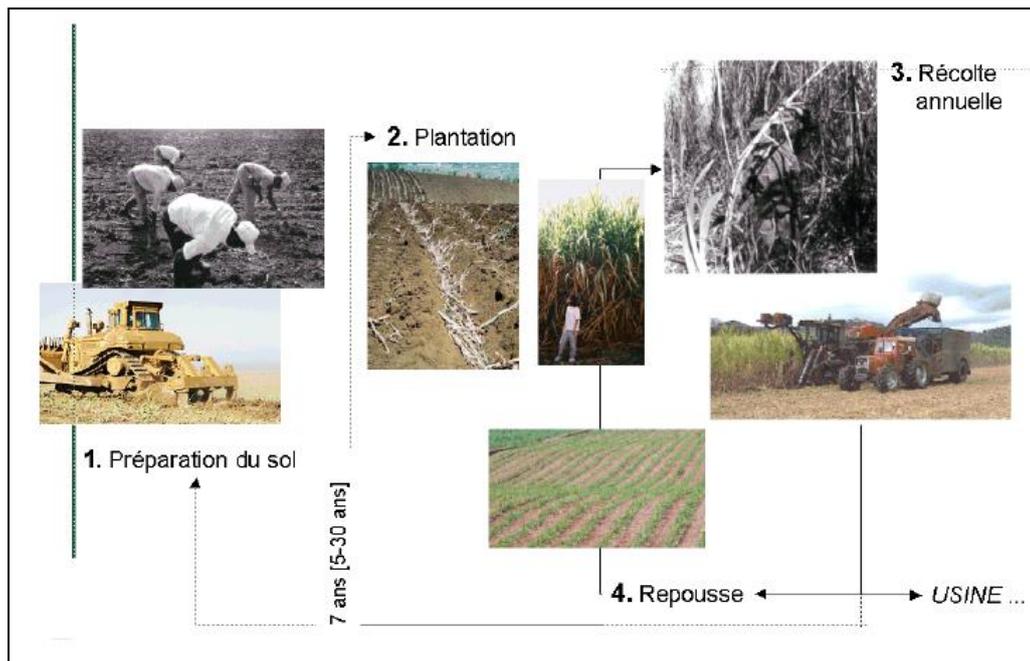


Figure 1. Cycle culturel de la canne à sucre (extrait de Bégué *et al.*, 2005)

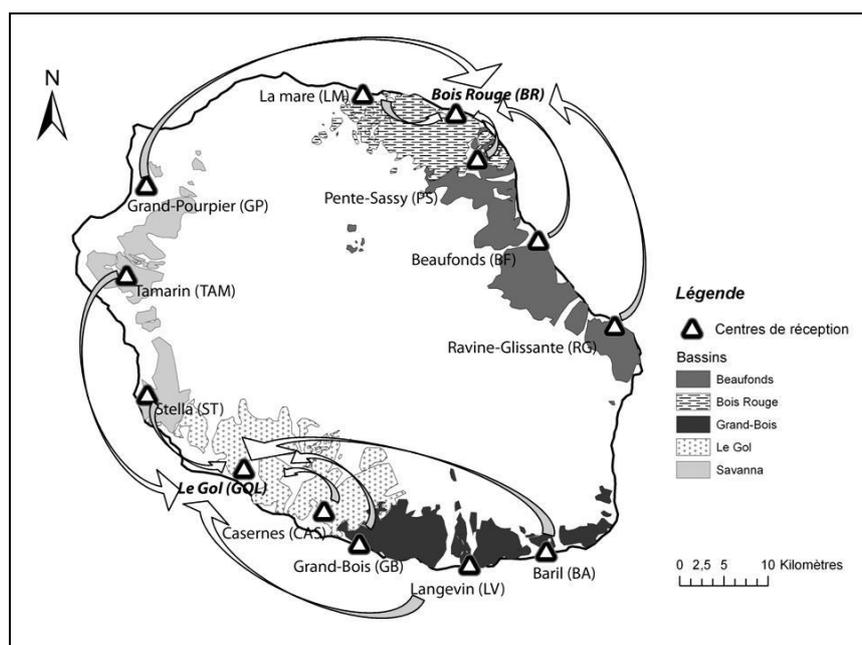


Figure 2. Centres de production de canne à sucre à l'île de la Réunion
(Réalisation : N. Boyer, 2010)

Données de télédétection

Les données de télédétection utilisées pour cette étude sont issues de la base de données *Kalideos* mise en place par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) au cours de l'année 2000. Nous utilisons des images acquises par le satellite SPOT 4. Ces dernières sont acquises dans les bandes multispectrales du vert, rouge, proche infrarouge et moyen infrarouge avec une résolution spatiale de 10 mètres. La largeur du champ balayé par le capteur est de 60km. Les produits SPOT issus de la base *Kalideos* sont des ortho-images TOC (Top Of Canopy). Les comptes numériques sont convertis en réflectance de sommet du couvert après prise en

compte de l'étalonnage absolu des capteurs SPOT et corrigées radiométriquement des effets de l'atmosphère grâce au logiciel 6S. La capacité de revisite quotidienne du capteur SPOT permet, malgré la couverture nuageuse fréquente sous les tropiques, d'acquérir plusieurs images exploitables sur cette période relativement restreinte.

Pour chaque année, 6 images ont été acquises à des moments précis de la campagne. Une image avant le début de la campagne sert à identifier les parcelles récoltables. Puis 5 images sont sélectionnées à des moments clés de la campagne (Figure 3).

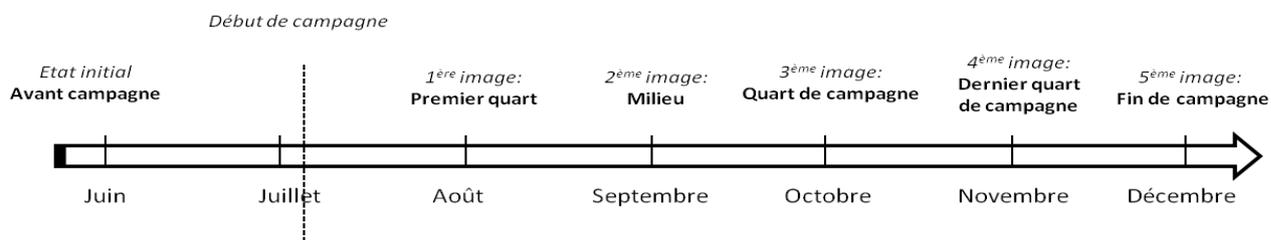


Figure 3. Acquisition d'image pendant la campagne de récolte de canne à sucre

Parcellaire agronomique et données de livraison

Pour les besoins de l'étude, nous disposons d'une couche vectorielle du parcellaire agronomique (Figure 4). En effet, conformément à la réglementation européenne, la France a mis en place depuis 2002, le registre parcellaire graphique (RPG) qui est un système d'information géographique permettant d'identifier les parcelles agricoles. Chaque année, les agriculteurs adressent à l'administration un dossier de déclaration de surfaces qui comprend notamment le dessin des îlots de culture qu'ils exploitent et les cultures qui y sont pratiquées.

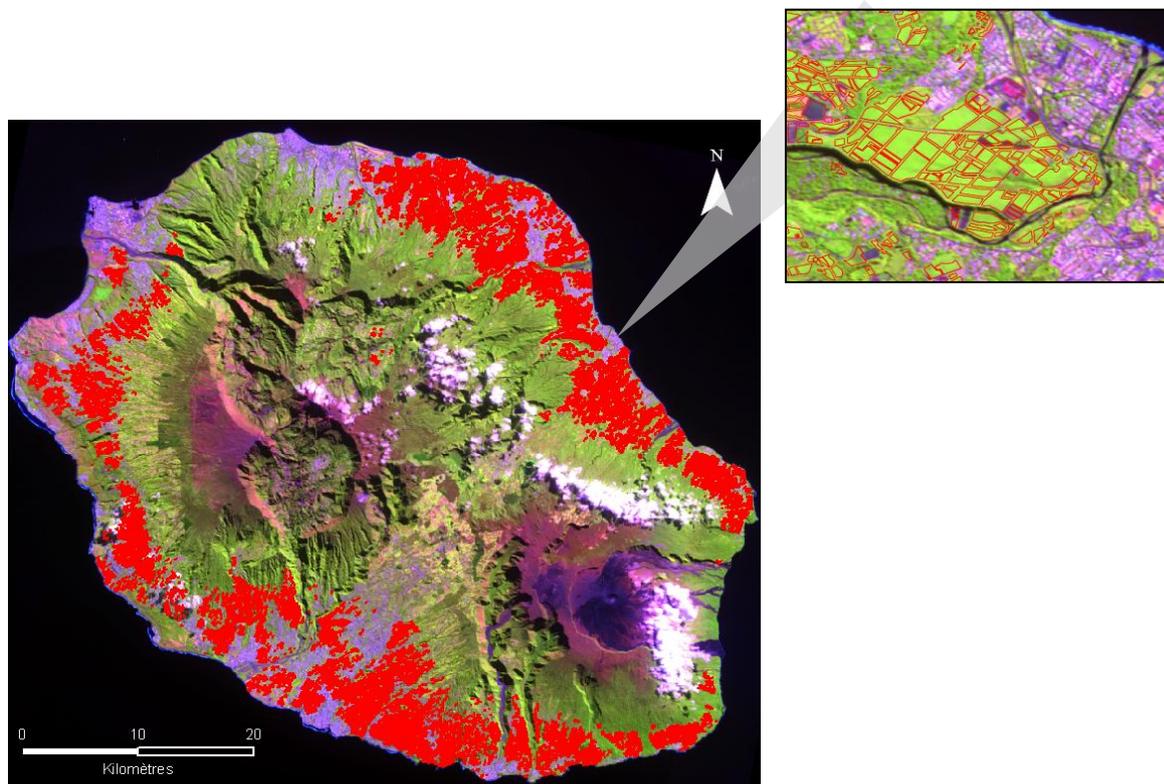


Figure 4. Parcellaire agronomique

Cette couche vectorielle est croisée avec celle des déclarations de plantations des parcelles de canne à sucre de la même année afin de redécouper les ilots de culture selon les contours des parcelles agronomiques de canne. Ce parcellaire agronomique élémentaire est affiné à partir de l'analyse des hétérogénéités de croissance (calcul des écarts type des valeurs de NDVI des pixels) à l'intérieur des ilots grâce à une image SPOT5 à 2,5m de résolution acquise en début d'année. Ceci permet de détecter les parcelles de canne dont les limites ont été modifiées au cours d'un cycle de récolte. L'actualisation des contours est alors effectuée par photo-interprétation.

Classification d'image

La méthodologie pour le suivi de la récolte de la canne à sucre se compose de deux grandes étapes. Une première étape consiste à extraire le parcellaire récoltable avant la campagne. Une deuxième étape consiste à extraire les parcelles récoltées et non récoltées à l'aide d'un algorithme de classification non supervisée. Cet algorithme permet de regrouper automatiquement les pixels ayant des signatures spectrales similaires sans connaissance *a priori* du terrain d'étude. L'utilisateur doit ensuite procéder à une reconnaissance des classes.

Extraction des parcelles récoltables avant campagne

Une première image acquise en Juin sert à identifier les parcelles récoltables. Le développement végétatif de la canne étant quasiment à son maximum pour cette période il est aisé d'identifier ces dernières (Bappel, 2005). Pour la suite du travail, seules les parcelles récoltables seront traitées. L'identification de ces dernières se fait en plusieurs temps (Figure 5).

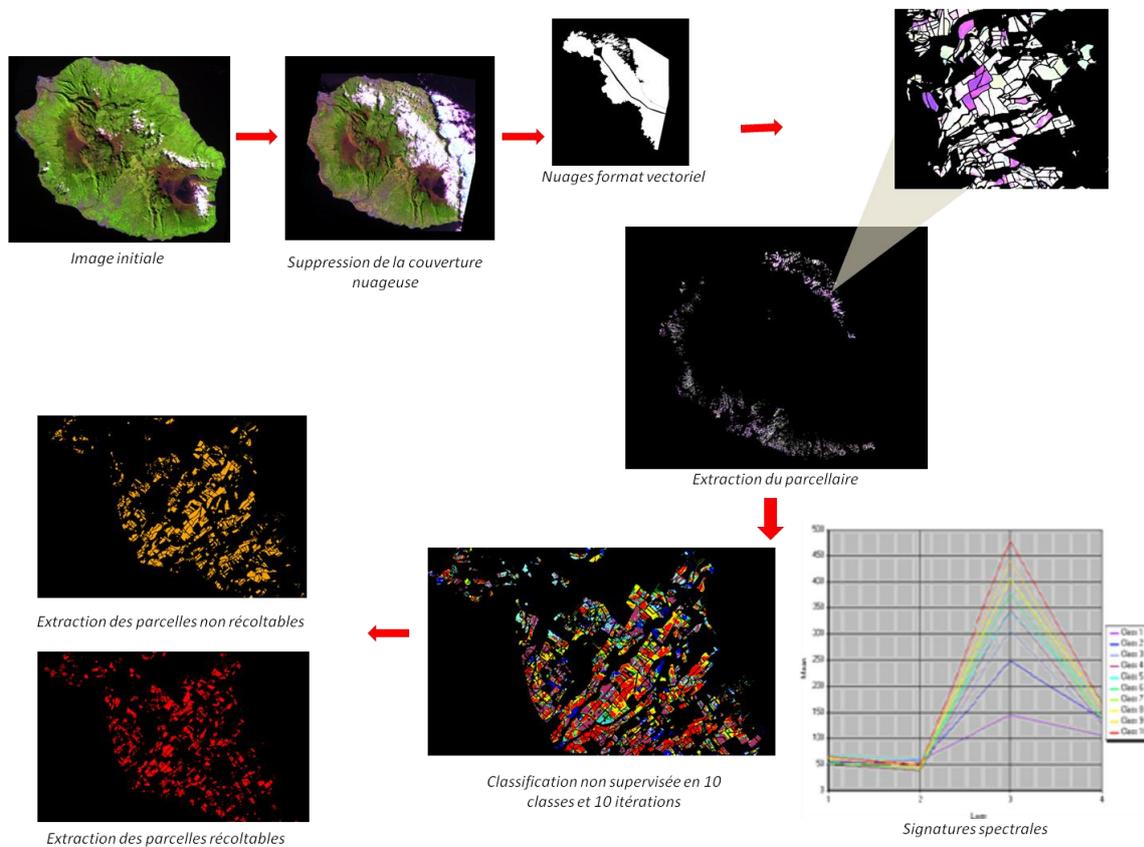


Figure 5. Méthodologie pour l'extraction des surfaces récoltables avant campagne

Le parcellaire agronomique extrait de l'image satellite est divisé en 10 classes grâce à un algorithme de classification non supervisée. Avec cette approche, l'expertise et la photo-interprétation permettent de regrouper les classes de manière à obtenir deux catégories : parcelles récoltables et non récoltables. Les parcelles récoltables constituent alors une nouvelle couche vectorielle.

Extraction des surfaces coupées et non coupées au cours de la campagne de coupe

Un premier taux de coupe est estimé en début de campagne (août, 1^{er} quart de campagne). Pour ce faire, les parcelles récoltables sont extraites de l'image satellite grâce à la couche vectorielle créée précédemment. Une classification non supervisée est réalisée sur ces parcelles. Dix classes sont obtenues en sortie de cette dernière et ensuite regroupées en deux catégories : coupée et non coupée.

Une deuxième estimation du taux de coupe est faite en milieu de campagne (septembre). Un masque comprenant alors, les surfaces non coupées au 1^{er} quart de campagne mais également les surfaces non visibles à cette date, est constitué. C'est ainsi que lors du second bilan de campagne, les surfaces non traitées à la date précédente vont pouvoir être traitées. Avant 2010, la méthodologie ne prenait pas en compte les surfaces recouvertes par les nuages. Ces dernières étaient définitivement retirées de l'analyse.

Le masque ainsi créé, comprenant les surfaces non coupées et non visibles en début de campagne, est extrait sur l'image en milieu de campagne. De la même manière que précédemment, une classification est effectuée sur ces surfaces extraites du masque afin d'obtenir de nouveau deux classes : coupée et non coupée.

Pour évaluer le taux de coupe aux trois quarts de campagne (octobre), un masque comprenant les surfaces non visibles et non coupées en milieu de campagne est de nouveau réalisé.

Après avoir extrait, sur l'image prise aux trois quarts de campagne, les parcelles issues du nouveau masque précédemment obtenu, et appliqué un algorithme de classification non supervisée, deux classes sont obtenues en sortie.

La nouvelle méthodologie prend en compte les surfaces non visibles aux dates antérieures à la date d'étude. Cependant, si une même parcelle est toujours recouverte par les nuages tout au long de la campagne, elle ne sera pas traitée. Il est aussi possible qu'une parcelle qui aurait été coupée en début de campagne, mais non identifiée comme telle car masquée par un nuage, ne soit visible qu'en milieu ou fin de campagne et classée en parcelle non coupée, car la reprise de croissance des souches peut la confondre avec une parcelle en pleine végétation visible. La durée maximale d'absence de visibilité choisie est de 45 jours. Les parcelles dépassant ce seuil sont retirées de l'analyse.

Pour l'image de fin de campagne, la méthodologie reste la même. Le masque des surfaces coupées et non coupées au trois quarts de la récolte est créé. Les surfaces coupées et non coupées du début et du milieu de campagne y sont soustraites. A ce masque sont retirées les parcelles ne répondant pas au critère précédemment développé. La classification non supervisée est réalisée et le taux de coupe de fin de campagne est calculé.

Calcul du taux de coupe

Le nombre de pixels coupés et non coupés est compté par parcelle. Le taux de coupe est obtenu en divisant le nombre de pixels coupés au nombre de pixels total par parcelle.

Estimation de l'erreur entre le taux de coupe observé et simulé

Le taux de coupe obtenu par télédétection est comparé avec les données de tonnage livré fournies par les industriels par centre de réception. Il est en effet possible de calculer le taux d'avancement de la récolte à partir des tonnages réceptionnés observés aux dates des images. La fiabilité de chaque état de la récolte est évaluée en calculant l'erreur relative de prédiction existant entre les taux d'avancement observés et les taux d'avancement estimés par télédétection.

L'estimation de l'erreur est calculée à partir de l'équation 1 :

$$\text{Err} = (\text{Tobs} - \text{Test}) / \text{Tobs}$$

Équation 1: Erreur relative de prédiction

Avec :

Err = erreur relative de prédiction

Test = taux de coupe estimé

Tobs = taux de coupe observé

Résultats

La méthodologie de suivi de la récolte de la canne à sucre par télédétection a été appliquée aux années 2009, 2010 et 2011. La figure 6 présente les taux de coupe observés et simulés par centres de réception pour le milieu de campagne de l'année 2011. Nous observons sur ce graphique, comme pour les autres dates, une surestimation des taux obtenus par télédétection. Ceci peut traduire une sous-estimation des surfaces récoltables identifiées par cette méthode. Cette question fera l'objet d'une étude complémentaire préalable au suivi de la récolte 2012.

Sur ce graphique, il n'y a pas de valeur estimée par télédétection pour le centre de réception de la Ravine Glissante (RG) car ce dernier était entièrement masqué par la couverture nuageuse ; il n'a donc pas été possible de calculer le taux de récolte de ce centre.

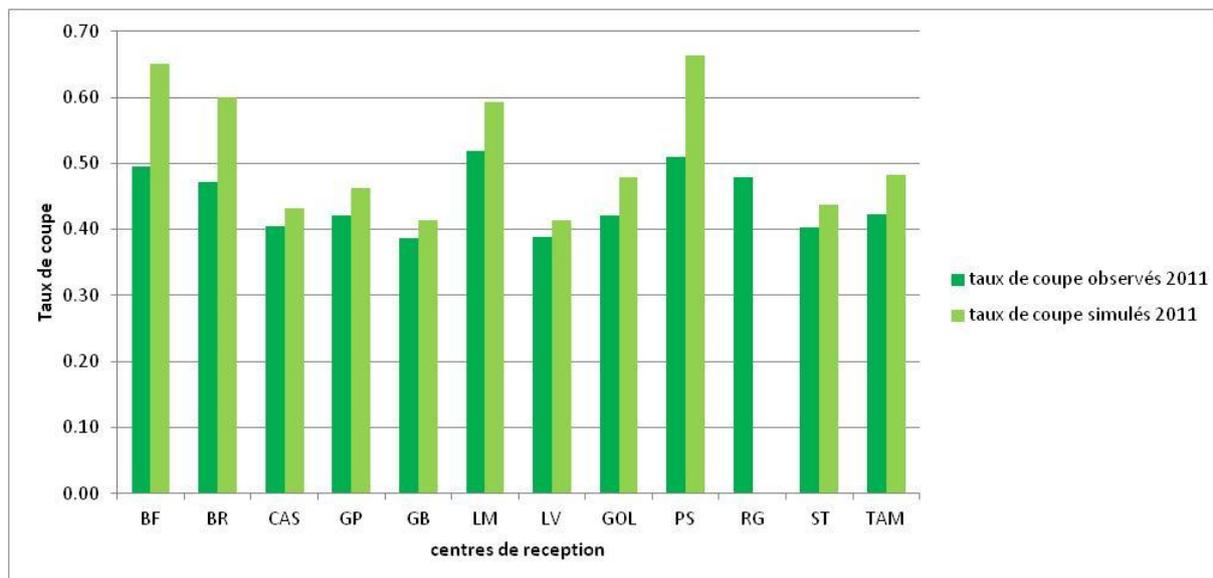


Figure 6. Taux de coupe observés et simulés en milieu de campagne 2011 par centre de réception

Les données obtenues sont intégrées à un système d'information géographique en ligne : Margouill@. Cet outil permet ainsi de visualiser à intervalle de temps court (1,5 mois

environ) l'évolution de la coupe de la canne à sucre à l'île de La Réunion. Ici est présenté un extrait de rendu cartographique pour la zone du GOL en milieu de campagne de l'année 2011 (Figure 7).

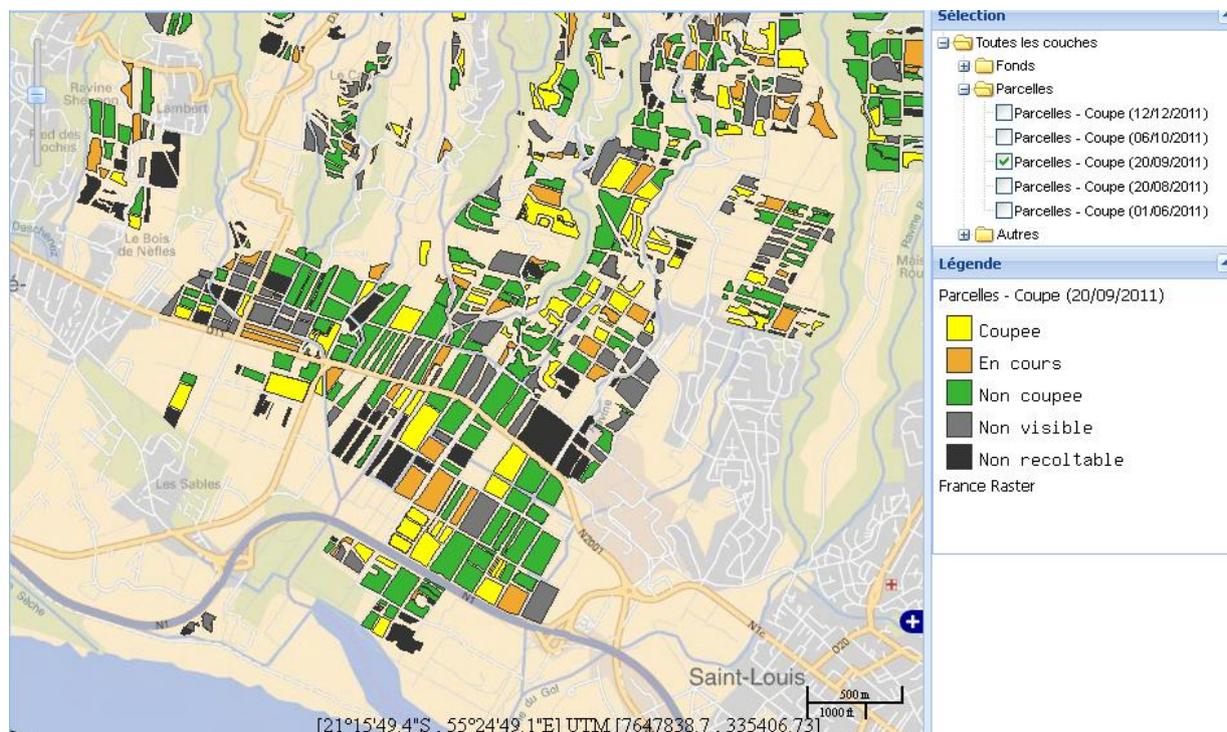


Figure 7. Exemple de rendu cartographique sur Margouill@ pour une partie de la zone du GOL

La figure 8 présente le pourcentage d'erreur pour l'île à chaque état de la campagne pour chaque année d'étude. Le pourcentage d'erreur pour l'année 2009 est important. Il est compris entre 10 et 45% selon l'avancement de la campagne. La prise en compte de la couverture nuageuse dans la méthodologie dès 2010 permet ainsi d'obtenir des résultats sensiblement plus fiables. Le pourcentage d'erreur pour les années 2010 et 2011 est en effet compris entre 4 et 15%.

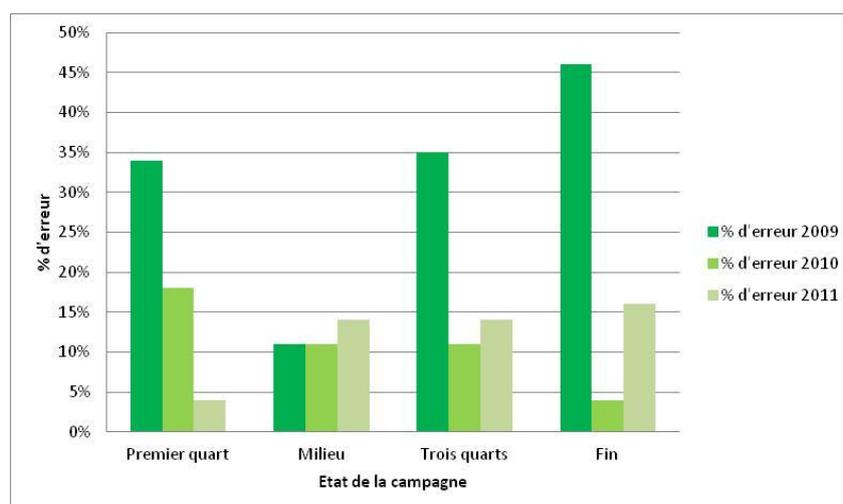


Figure 8. Pourcentage d'erreur en fonction de la période de la campagne de coupe de la canne pour les années 2009, 2010 et 2011

Conclusion

Cette étude avait pour but de présenter une méthodologie de cartographie de l'avancement de la récolte de canne à sucre à partir des données de télédétection.

Les résultats montrent que la prise en compte de la couverture nuageuse dans le masque d'extraction améliore significativement les résultats. A partir de 2010, ces derniers évaluent le taux d'avancement de la coupe de canne à sucre de manière satisfaisante avec une erreur comprise entre 4 et 15% selon l'avancement de la coupe, à l'échelle de l'île.

Cette méthode de suivi des surfaces récoltées par télédétection présente l'avantage de fournir des résultats cartographiques à l'échelle de la parcelle agronomique permettant des ajustements de quotas de coupe plus fins au sein d'un bassin de réception que les données de livraisons.

La présence d'une couverture nuageuse quasiment récurrente sur la série d'image peut limiter la précision des résultats. Il pourrait donc être intéressant d'utiliser une série d'images RADAR pour pallier à ce problème. En effet, l'acquisition de ces images est indépendante des conditions d'illumination et de l'atmosphère. A ce sujet, Baghdadi *et al.* (2010), ont montré qu'il était possible de détecter les parcelles de canne coupées, à partir du capteur TerraSAR-X, à La Réunion. La validation de la technique et sa déclinaison opérationnelle est l'objet de travaux en cours au CIRAD Réunion.

Références bibliographiques

- Agreste, (2011). La canne à sucre reste le pilier de l'agriculture réunionnaise, numéro 73, 3 pages.
- Baghdadi N., Cresson R., Todoroff P., Moinet S., (2010); Multitemporal Observations of Sugarcane by TerraSAR-X Images, Sensors, vol. 10, no. 10, pp. 8899-8919.
- Bappel E., (2005). Apport de la télédétection aérospatiale pour l'aide à la gestion de la sole cannière réunionnaise, thèse de doctorat en traitement du signal et de l'image de l'université de la Réunion, 277 pages.
- Bégué A., Degenne P., Pelligrino A., Todoroff P., Baillarin F., (2004). Application of remote sensing technology to monitor sugar cane cutting and planting in Guadeloupe (French west indies), Geomatica 2004 conference, 10-14th May, La Habana, Cuba, pp.1-11
- Bégué A., Degenne P., Baillairin F., Lemonnier H., Lebourgeois V., Gargaros D., (2005). Projet SUCRETTE (Suivre la Canne à suCRE par TélédéTEction), Compte-rendu de fin de recherche d'opération, 101 pages
- El Hajj M., (2008). Exploitations des séries temporelles d'image satellite à haute résolution spatiale par fusion d'informations multi-sources pour le suivi des opérations culturales, thèse de doctorat en sciences et industries du vivant et de l'environnement, Agro Paris Tech, 234 pages.
- Gers C., Schmidt E., (2001). Using Spot 4 satellite imagery to monitor area harvested by small scale sugarcane farmers at umfolozi, Proc S Afr Sug Technol Ass, pp.28-33
- Johnson A.K.L., Kinsey-Henderson A.E., (1997). Satellite-based remote sensing for monitoring land use in sugar industry, Proc. Aust. Soc. Sug. Cane Technol., 19, pp. 237-245