

Caractérisation de la cocoteraie des Tuamotu à partir d'images satellites à très haute résolution spatiale

Raimana Teina

Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6)
Département CALSCI - Équipe PEQUAN
Université Pierre & Marie Curie
en collaboration avec
le laboratoire GePaSud - Université de la Polynésie Française

15 Septembre 2009



Laboratoire d'Informatique de Paris 6

Plan de la soutenance

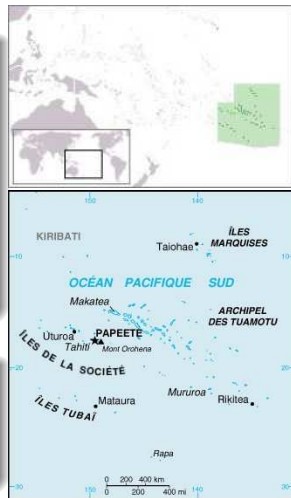
- 1 Introduction
 - Contexte de l'étude
 - Problématique
- 2 Dénombrement des cocotiers
- 3 Étude de la typologie de la cocoteraie
 - Caractérisation à partir des pixels
 - Analyse de la distribution spatiale
- 4 Conclusions & Perspectives

Contexte

Situation et contexte géo-économique de la Polynésie Française

Situation géographique

- Située dans l'hémisphère sud de l'Océan Pacifique,
- Constituée d'une centaine d'îles subdivisées en 5 archipels,
- Superficie terrestre : 4167 km²,
- Superficie maritime : 5030000 km²,
- Population (20 Août 2007) : 260338 habitants (INSEE).



Ressources économiques

Tourisme, perliculture, pêche, agriculture, artisanat, industrie, secteur tertiaire (activités portuaires et aéroportuaires).

Contexte

Économie de la *Coprah*-culture

Exploitation de la cocoteraie

- Principale ressource financière (pas d'activité de periculture),
- utilisation du bois des arbres sénils,
- extraction de l'huile de *Coprah*,
- nécessité de l'estimation du volume d'huile de *Coprah* pouvant être produit.

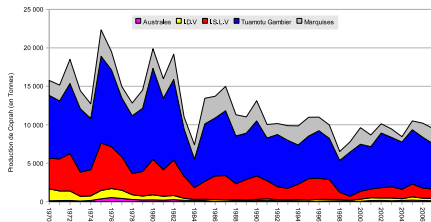


FIG.: Évolution de la production d'huile de *coprah*.

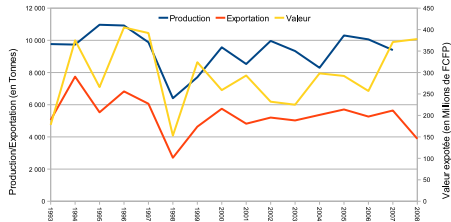


FIG.: Évolution de l'exportation d'huile de *coprah*.

Problématique

But

- Programme de régénération des cocoteraies (Service du développement Rural),
- maintien des populations rurales dans les îles.

Pourquoi travailler sur des images satellites ?

- Réduction des coûts (éloignement et difficultés d'accès),
- la télédétection est une solution viable :
 - images à très haute résolution spatiale : Ikonos 2 (82 cm), Quickbird (61 cm),
 - images multi-spectrales (visible, proche infrarouge).

⇒ Résolution compatible avec la taille des objets à détecter,

⇒ recours aux traitements des images pour l'extraction d'informations.

Deux problèmes à résoudre

- le **dénombrement** des cocotiers et
- la **étude de la typologie** des cocoteraies selon leur organisation spatiale.

Dénombrement des cocotiers

Dénombrement des cocotiers

Dénombrement des cocotiers

Objectifs

Segmentation manuelle



Dénombrement des cocotiers

Objectifs

Segmentation manuelle



Dénombrement des cocotiers

Objectifs

Segmentation manuelle



Dénombrement des cocotiers

Objectifs

Segmentation manuelle



Dénombrement des cocotiers

Objectifs

Segmentation manuelle



- Dénombrement exhaustif des cocotiers,
- extraction de statistiques

Dénombrement des cocotiers

Architecture



Pas de bande proche infra rouge \Rightarrow pas de calcul de NDVI possible

Méthode de dénombrement des cocotiers en quatre étapes :

- masquage des zones végétales,
- construction des marqueurs,
- segmentation par LPE,
- élimination des régions aberrantes

Dénombrement des cocotiers

Architecture : masques des zones végétales



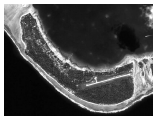
Image originale

Dénombrement des cocotiers

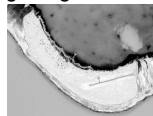
Architecture : masques des zones végétales



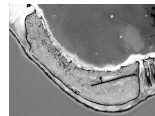
Image originale



ACP 1 : inertie de 94%



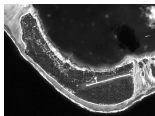
ACP 2



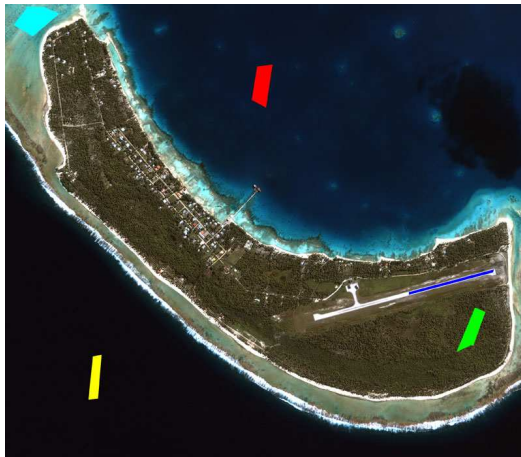
ACP 3

Dénombrement des cocotiers

Architecture : masques des zones végétales



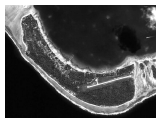
ACP 1



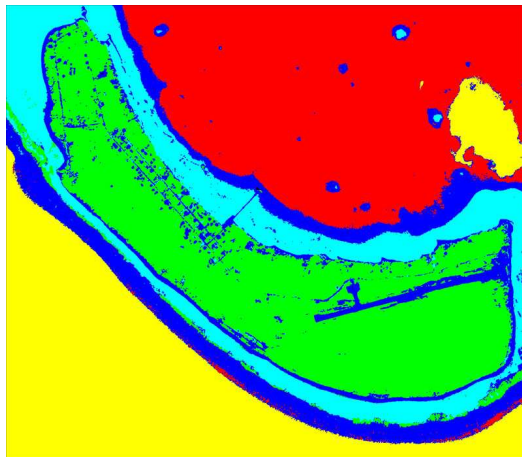
Région d'apprentissage

Dénombrement des cocotiers

Architecture : masques des zones végétales



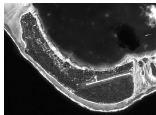
ACP 1



Classification par Maximum de Vraisemblance

Dénombrement des cocotiers

Architecture : masques des zones végétales



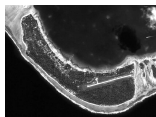
ACP 1



Masque de végétation

Dénombrement des cocotiers

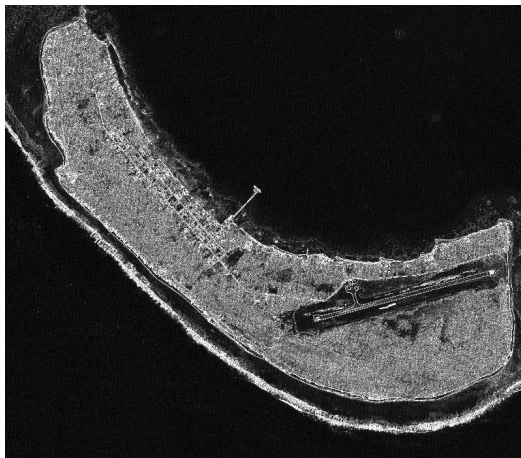
Architecture : masques des zones végétales



ACP 1



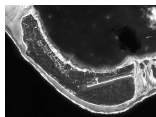
Masque végétation



Filtre de texture : *Data Range*

Dénombrement des cocotiers

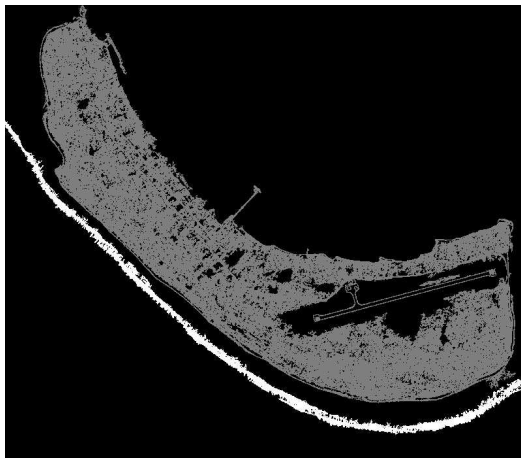
Architecture : masques des zones végétales



ACP 1



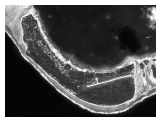
Masque végétation



Seuillage

Dénombrement des cocotiers

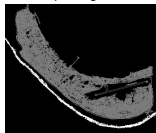
Architecture : masques des zones végétales



ACP 1



Masque végétation



Data range seuillé



Masque de végétation haute

Dénombrement des cocotiers

Architecture : Lissage et construction des marqueurs

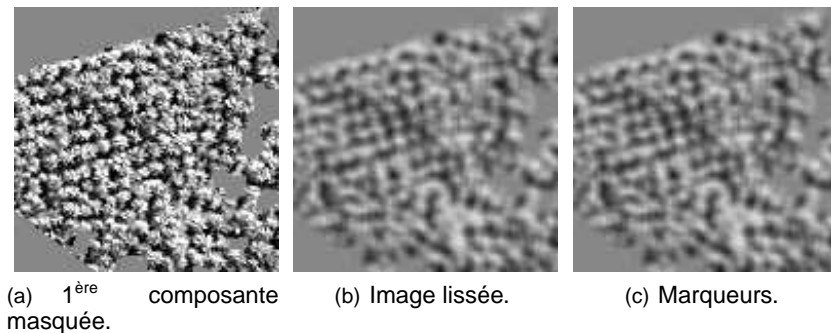


FIG.: Lissage de l'image et marqueurs.

Dénombrement des cocotiers

Architecture : Lissage et construction des marqueurs

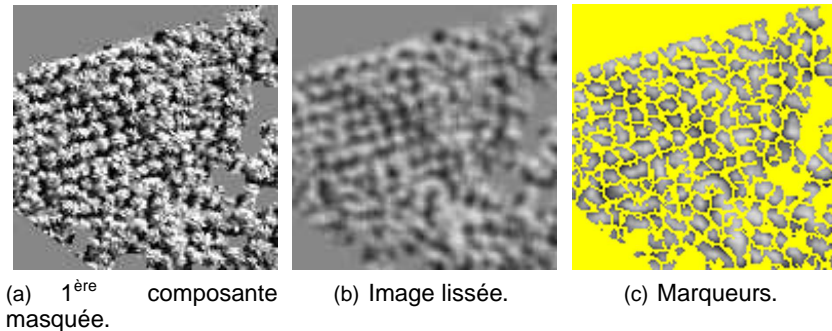


FIG.: Lissage de l'image et marqueurs.

Dénombrement des cocotiers

Architecture : Lissage et construction des marqueurs

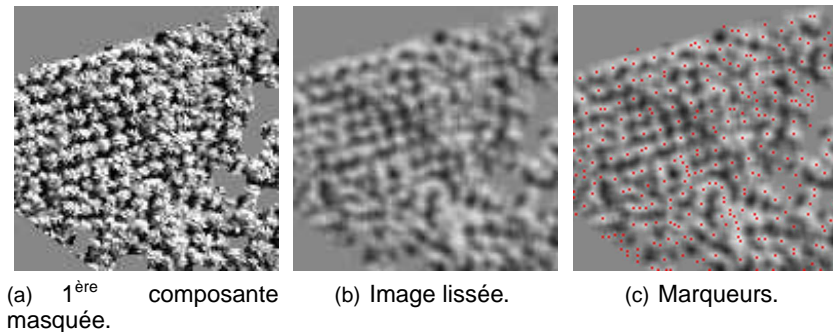


FIG.: Lissage de l'image et marqueurs.

Dénombrement des cocotiers

Architecture : Lissage et construction des marqueurs

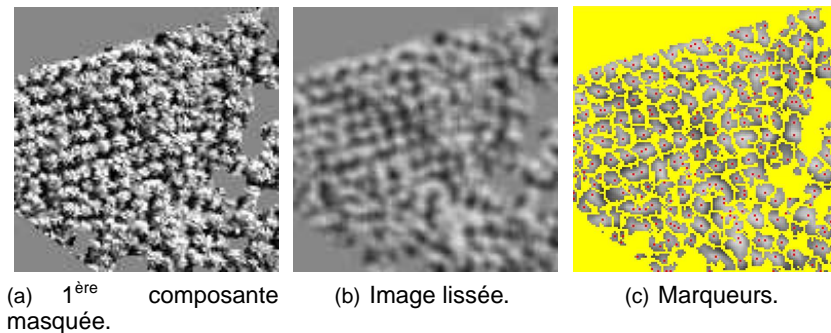


FIG.: Lissage de l'image et marqueurs.

Dénombrement des cocotiers

Résultats

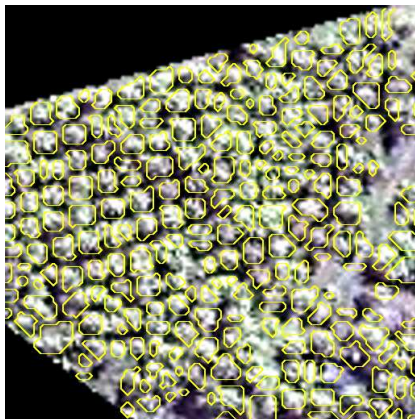


FIG.: Exemple de résultats.

Dénombrement des cocotiers

Architecture : diagramme de la méthode

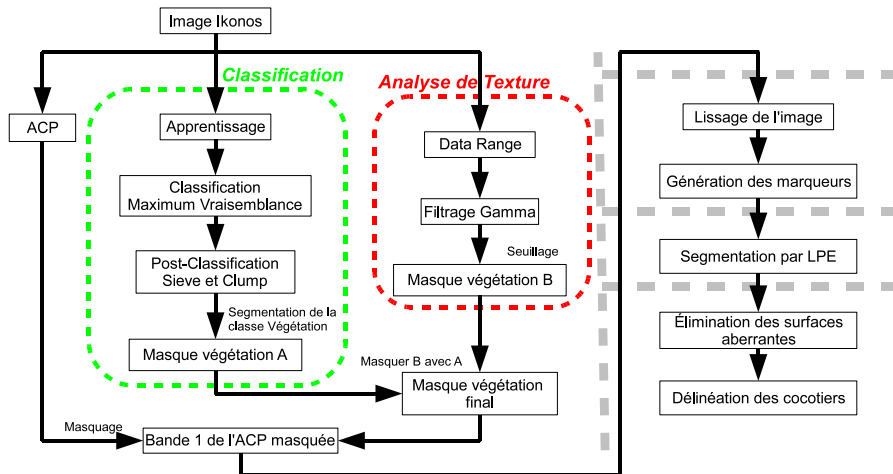


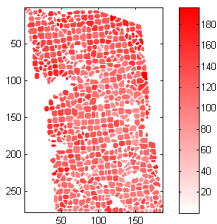
FIG.: Diagramme de la méthode.

Dénombrement des cocotiers

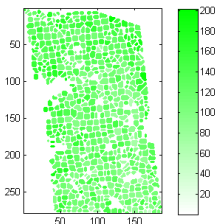
Exploitation des résultats

Plusieurs informations sont extraites des résultats :

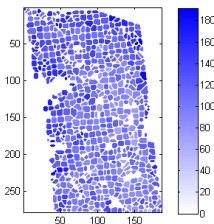
- surface des couronnes,
- coordonnées du centre,
- couleurs moyennes \Rightarrow information sur l'état de santé,
- cartes de densité.



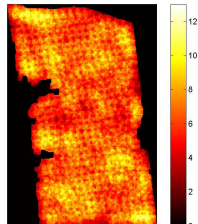
(a) Moyenne rouge



(b) Moyenne vert



(c) Moyenne bleu



(d) Carte de densité

Dénombrement des cocotiers

Validation : vérité photo

- Application de la méthode sur des zones de test,
- vérité photo par interprétation humaine,
- comparaison des résultats :

Zone	Méthode	Interp.	% erreur
1	908	818	9,91%
2	986	912	7,51%
3	495	450	9,09%
4	346	356	2,89%
5	436	399	8,49%
6	1269	1198	5,59%
motu 16	4440	4133	6,81%

⇒ Erreur moyenne de détection de 7,18%

Insuffisant pour conclure : une vérité terrain est nécessaire

Dénombrement des cocotiers

Vérité terrain : protocole

Protocole

- génération de placettes de 12 m de rayon disposées en quinconce,
- repérage des placettes par GPS,
- mesures de densités locales,
- 76 placettes traitées,
- échantillonnage de 6.45% de la surface totale des zones.



Dénombrement des cocotiers

Vérité terrain : problèmes rencontrés

Le FEO

- Corail soulevé, accès difficile,
- placettes situées dans ces zones,
- d'autres placettes mesurées en dehors.



Différenciation des cocotiers en trois classes de strates

- Strate 1 : cocotiers en canopée, non masqués par des arbres plus grands
- Strate 2 : cocotiers dont les palmes se chevauchent
- Strate 3 : cocotiers partiellement ou totalement masqués par un arbre plus grand



Dénombrement des cocotiers

Conclusion

- Méthode automatique difficile à mettre en place :
 - bande PIR absente \Rightarrow pas de calcul d'indice de végétation,
 - intervention utilisateur pour la classification des végétaux.
- Mission terrain de 2006 :
 - prise en compte des différentes configurations des cocotiers,
 - certains non visibles depuis le satellite,
 - taux de détection de 68% (S1 et S2) et 96% (S1),
 - images acquises en 2003.
- Validations \Rightarrow méthode robuste.
- Application à l'ensemble de l'atoll de Tikehau :
 - dimensions : 28517×28617 pixels,
 - taille : 4,78 Go,
 - plusieurs heures de calcul.

Étude de la typologie de la cocoteraie

Étude de la typologie de la cocoteraie

Étude de la typologie de la cocoteraie

Étude de la typologie de la cocoteraie Caractérisation à l'aide des pixels

Caractérisation de la cocoteraie

Problème

- Étude des performances de différents classifieurs :
 - Parallélépipède,
 - Distance minimum,
 - Distance de Mahalanobis,
 - Maximum de vraisemblance et les SVM.
- Regroupement en trois classes

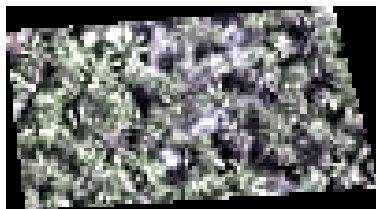
- Plantation artificielle basse densité
- Plantation artificielle densité moyenne
- Plantation naturelle



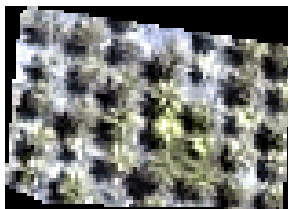
Caractérisation de la cocoteraie

Trois classes :

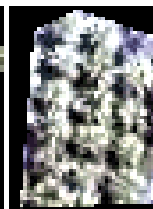
- naturelle (*Natural*),
- artificielle à basse densité (*Artificial LD*),
- et artificielle à densité moyenne (*Artificial MD*).



(a) *Natural*



(b) *Artificial LD*



(c) *Artificial MD*

FIG.: Exemple des différents types plantations.

Caractérisation : approche pixelique

Codage de l'information

- Bandes spectrales pas suffisantes,
- nécessité d'ajouter des informations de texture d'Haralick :
 - Calcul d'une matrice de cooccurrence avec une fenêtre glissante
⇒ extraction de moments d'ordre 1 et 2
- étude de l'influence de la taille de la fenêtre,
- pixel représenté par un vecteur à 11 composantes : 8 textures + 3 spectraux.

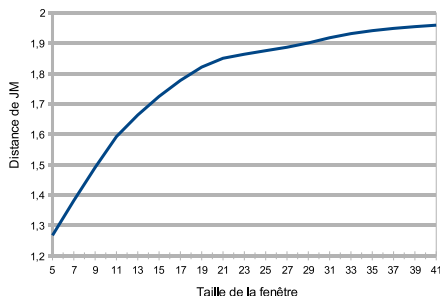


FIG.: Évolution de la séparabilité des classes en fonction de la taille de la fenêtre des descripteurs de texture.

Caractérisation : approche pixelique

Choix du classifieur : performances moyennes

- Matrice de confusion calculée à partir de 3000 pixels tirés dans chaque région de référence,
- performance moyenne intra classe : moyenne des éléments diagonaux.

	Données de référence			
Classes	<i>Natural</i>	<i>Artificial LD</i>	<i>Artificial MD</i>	
<i>Natural</i>	98,63	0	14,33	
<i>Artificial LD</i>	0	99,89	16,53	
<i>Artificial MD</i>	1,37	0,11	69,13	Performance moyenne
				89,22

TAB.: Méthode de calcul de la performance moyenne intra-classe à partir de la matrice de cohérence.

Caractérisation : approche pixelique

Choix du classifieur : comparaison des performances

⇒ Classifieurs SVM et bayésien se démarquent nettement.

⇒ SVM utilisé par la suite.

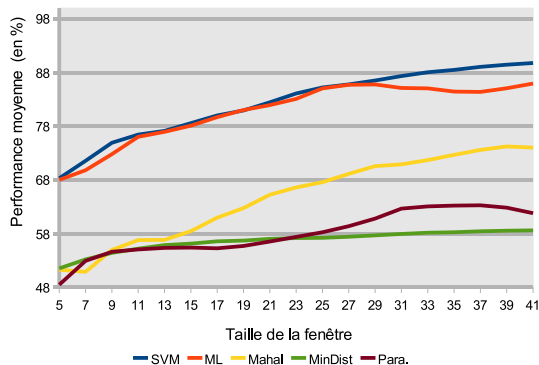


FIG.: Performance des classifieurs.

Caractérisation : approche pixelique

SVM : optimisation des paramètres

SVM

- noyau RBF :

$$K(x, x') = e^{-\frac{|x-x'|^2}{2\gamma^2}}$$

- paramètre de pénalité : pénalise les erreurs de classification.

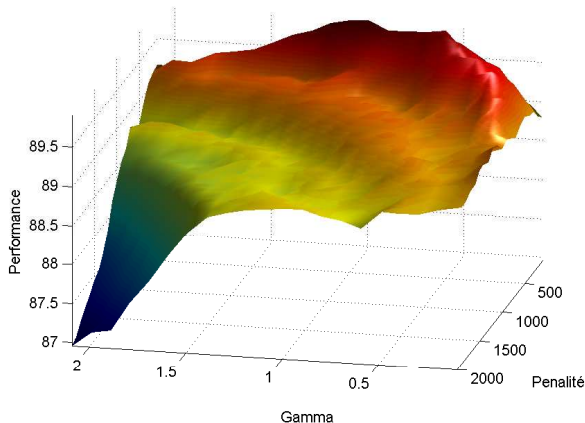


FIG.: Influence des paramètres P et γ sur la performance du classifieur SVM.

Application et résultats

Résultats : Vahitahi

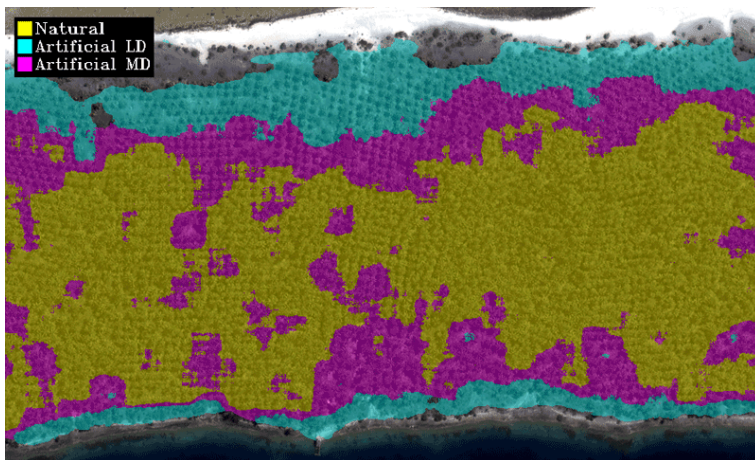
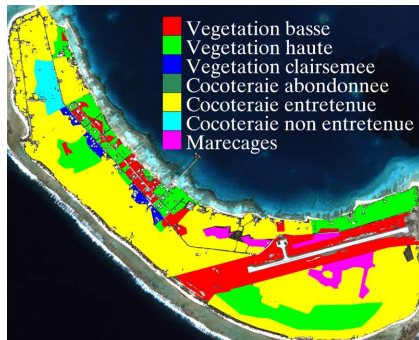


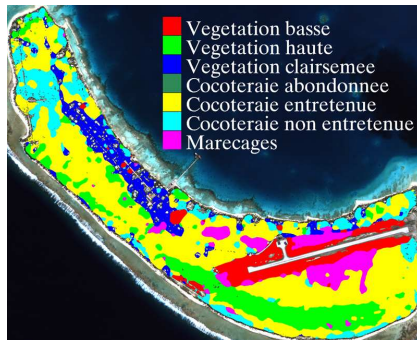
FIG.: Résultat de la classification par SVM avec $P = 1200$ et $\gamma = 0,091$.

Application et résultats

Résultats : Tikehau



(a) Vérité terrain.

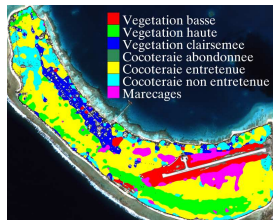


(b) Résultat de la classification.

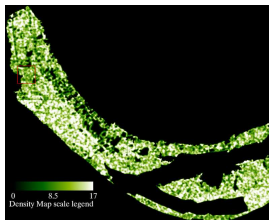
FIG.: La vérité terrain fournie par le cadastre et le résultat de la classification avec les SVM des types de plantations.

Application et résultats

Résultats : Tikehau - Extrapolation du nombre de cocotiers



Classification SVM



Carte de densité



Relevés terrains

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	
Perf. Moy.	92,70%	64,44%	0,00%	66,76%	72,75%	61,11%	57,04%	0,00%	Total
Detectés	14180	20975	608	87824	19777	1305	1054	904	146627
Extrapolés	15296	32549	608	131546	27186	2135	1848	904	212072

Extrapolation du nombre de cocotiers

Conclusions sur la caractérisation à partir des pixels

- Bandes spectrales non suffisantes,
- nécessité d'ajouter des informations de texture,
- classifieurs SVM et bayésiens obtiennent les meilleurs résultats,
- utilisation de beaucoup de ressources.

⇒ Exploiter les positions spatiales calculées dans la première partie à l'aide de processus ponctuel de poisson.

Étude de la typologie de la cocoteraie

Étude de la typologie de la cocoteraie

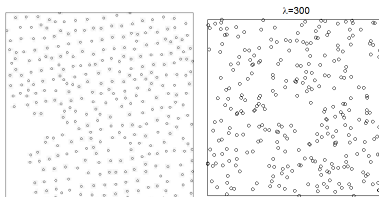
Analyse de la distribution spatiale

Analyse de la distribution spatiale

Principe

Idée

- Exploiter les positions spatiales des cocotiers,
- analyse l'aide d'un processus spatial ponctuel de Poisson,
- un processus spatial ponctuel de Poisson caractérise une plantation naturelle.



(a) Semis réel.

(b) Semis simulé.

Processus ponctuel de Poisson

Définition

Test de la distribution d'un Processus Ponctuel de Poisson

On souhaite tester l'hypothèse \mathcal{H}_0 indiquant si une réalisation est un processus poissonnien.

Définition

Un processus ponctuel de Poisson est un ensemble de points $X = \{X_i\}$ d'un domaine $S \subset \mathbf{R}^n$ vérifiant les propriétés suivantes :

- 1 $\forall B \subset S$, le nombre de points dans B , noté $|X \cap B|$, suit une loi de Poisson de paramètre $\lambda \mathcal{A}(B)$ tel que :

$$P(|X \cap B| = n) = e^{-\lambda \mathcal{A}(B)} \frac{(\lambda \mathcal{A}(B))^n}{n!} \quad (1)$$

avec $\mathcal{A}(B)$ la surface de B

- 2 Si B_1 et B_2 sont 2 ensembles disjoints, $|X \cap B_1|$ et $|X \cap B_2|$ sont indépendants.



Outils d'analyse spatiale

But

Étudier la variabilité spatiale de la fonction d'intensité λ .

Les techniques utilisées

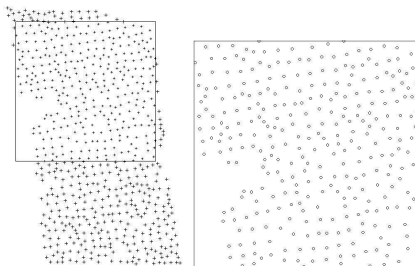
- Analyse par quadrants,
- estimation de la fonction d'intensité λ par des méthodes de noyaux,
- Analyse de second ordre.

Application à la cocoteraie

Présentation des données

Données et zone d'étude

- segmentation des arbres,
- détection des centres et extractions des coordonnées spatiales.



(c) Région #04.

(d) Sous région #04.

FIG.: Région d'étude.

Application à la cocoteraie

Méthode des quadrants

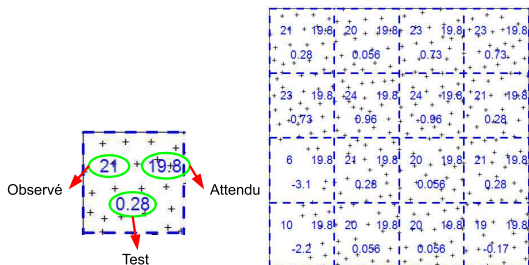


FIG.: Test de Pearson de la sous région #04.

Conclusion

- Les semis rejettent l'hypothèse d'un processus ponctuel de Poisson.
- Illustre les variations spatiales de la fonction d'intensité $\lambda(\vec{x})$ dans chacune des régions.
- Méthode très dépendante du partitionnement de l'espace.

Application à la cocoteraie

Estimation de λ par la méthode des noyaux

Estimation lissée des intensités

- Convolution gaussienne avec un écart type de 12 m.
- Indication sur les disparités spatiales de la fonction d'intensité.

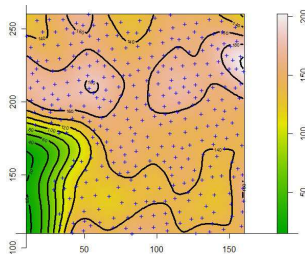


FIG.: Estimation des intensités (en nombre d'arbres par hectare).

Application à la cocoteraie

Analyse de second ordre

$$K(r) = \frac{1}{\lambda^2 \mathcal{A}(S)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \mathbf{1}_{\{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| \leq r\}} \mathbf{e}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j, r)$$

$\lambda K(r)$: espérance du nombre de points
à distance r

	Régulier	Agrégé	Poisson
$K(r)$	$> \pi r^2$	$< \pi r^2$	$= \pi r^2$

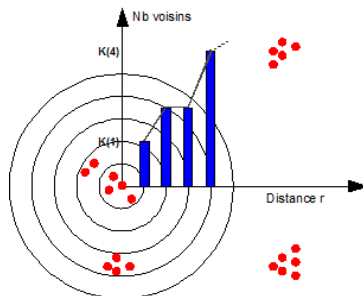


FIG.: Méthode de calcul $K(r)$.

Application à la cocoteraie

Analyse de second ordre

$$K(r) = \frac{1}{\lambda^2 \mathcal{A}(S)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \mathbf{1}_{\{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| \leq r\}} \mathbf{e}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j, r)$$

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}}$$

$$g(r) = \frac{1}{2\pi r} \frac{\partial K(r)}{\partial r}$$

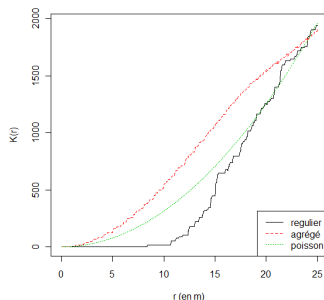


FIG.: Estimation de $K(r)$.

	Régulier	Agrégé	Poisson
$K(r)$	$> \pi r^2$	$< \pi r^2$	$= \pi r^2$
$L(r) - r$	< 0	> 0	$= 0$
$g(r)$	< 1	> 1	$= 1$

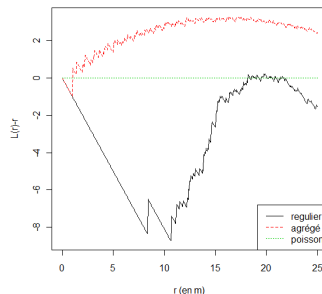
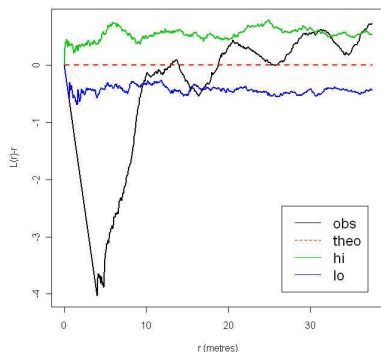


FIG.: Estimation de $L(r) - r$.

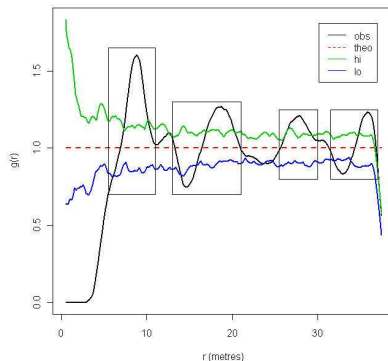
Application à la cocoteraie

Analyse de second ordre

Sous région #04 : distance minimale entre 2 arbres est de 4 m.



(a) Fonction L .



(b) Fonction g .

Application à la cocoteraie

Classification des plantations

Pour l'espèce de cocotiers *Grands Locaux*

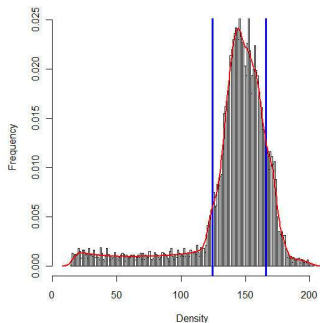
- Espacement recommandé entre chaque arbre est de 8,5 m,
- densité de 140 à 150 arbres par hectare.

Analyse empirique de l'histogramme de la carte d'intensité :

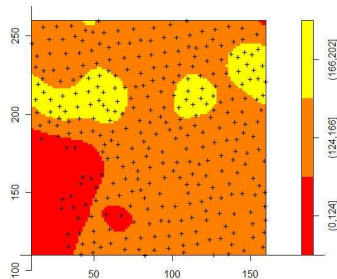
$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{valeurs} < 140 - \sigma_{KD} & \text{plantation naturelle : classe 1} \\ 140 - \sigma_{KD} \leq \text{valeurs} \leq 150 + \sigma_{KD} & \text{plantation artificielle : classe 2} \\ \text{valeurs} > 150 + \sigma_{KD} & \text{plantation naturelle plus dense : classe 3} \end{array} \right. \quad (2)$$

Application à la cocoteraie

Classification des plantations (suite)



(c) Histogramme.



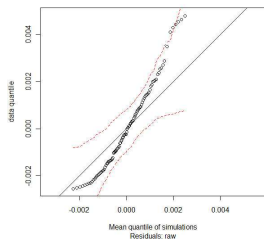
(d) Seuillage.

Application à la cocoteraie

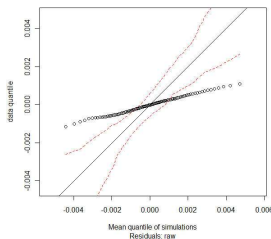
Classification des plantations (suite)

Diagramme quantile quantile

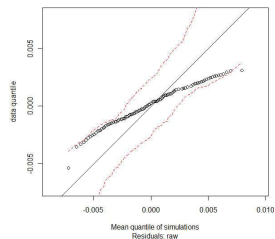
- Permet de tester si deux échantillons suivent une même loi.
- Loi utilisée : processus ponctuel de poisson.
- Validé si dans l'intervalle de confiance.



(e) Q-Qplot classe 1



(f) Q-Qplot classe 2



(g) Q-Qplot classe 3

FIG.: Diagrammes quantile quantile des zones segmentées de la sous région #04.

Conclusions sur l'analyse spatiale

Conclusions

- Exploitation des coordonnées spatiales uniquement,
- analyse spatiale du semis de points permet de caractériser la distribution spatiale des plantations,
- réduction importante des temps de calcul.

Conclusions générales

Contributions

- Mise en place d'une méthode de dénombrement des cocotiers :
 - validations : photo et mission sur le terrain,
 - méthode robuste,
 - passage à l'échelle sur l'ensemble de l'atoll.
- Caractérisation des cocoteraies à partir des informations spectrales et texturales :
 - étude comparative des performances des quelques classifieurs,
 - application à une grande quantité de données.
- Analyse spatiale de la distribution des cocotiers dans le plan :
 - tests statistiques de la répartition,
 - estimation de la variabilité spatiale de l'intensité.

Perspectives

Dénombrement des cocotiers

- Données PIR \Rightarrow automatiser les masques de végétation,
- données plus récentes pour mieux estimer les erreurs,
- utiliser les ombres pour détecter les cocotiers isolés.

Caractérisation avec les pixels

- Autres attributs d'entrée : Fourier, ondelettes, etc.
- Classification SVM par attributs, puis fusion des résultats.

Analyse spatiale

- Estimation de l'histogramme des densités par des compositions de gaussiennes \Rightarrow meilleures valeurs de seuil,
- développement d'autres modèles pour valider des plantations artificielles plus denses.

Publications

- R. TEINA, D. Béréziat, B. Stoll, S. Chabrier : *"A comparative study of various supervised classifiers for coconut palm trees fields's type mapping on 80-cm RGB pansharpened Ikonos images"*, in Image Processing : Machine Vision Applications II. Proceedings of SPIE vol. 7251. IS&T/SPIE Electronic Imaging. San Jose, CA (USA), 18-22 janvier 2009.
- R. TEINA, D. Béréziat, B. Stoll : *"A Spatial Poisson Process to classify coconut fields' type on Ikonos pansharpened images"*, in Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques, and Application II. Proceedings of SPIE Vol. 7149. SPIE Asia Pacific Remote Sensing. Nouméa, Nouvelle Calédonie, Novembre 2008.
- R. TEINA, D. Béréziat, B. Stoll, S. Chabrier : *"Toward a global Tuamotu archipelago coconut trees sensing using high resolution optical data"*, in IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium IGARSS'08. Boston, MA (USA), 6-11 Juillet 2008.
- R. TEINA, D. Béréziat, B. Stoll : *"Étude de la cocoteraie de Tikehau sur des images Ikonos"*, in proceedings MajecSTIC, Caen, France, Schedae 07, prépublication 38, p.265-269, Presses universitaires de Caen. 2007.
- R. TEINA, D. Béréziat, B. Stoll : *"Étude pilote de la cocoteraie des Tuamotus sur des images Ikonos - Tikehau"*, Rapport technique pour le Service du Développement Rural (SDR) de la Polynésie Française. 2006.

Je vous remercie de votre attention.

Questions

Questions...