

Étude de la cocoteraie des Tuamotu sur des images Ikonos

Raimana Teina¹, Dominique Béréziat², Benoît Stoll³

¹Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Université Pierre et Marie Curie

²Projet CLIME - Inria Rocquencourt

³Laboratoire Terre et Océan, Université de la Polynésie Française

Raimana.Teina@lip6.fr

Résumé:

Cet article présente une méthode d'extraction et de recensement des cocotiers à partir d'images satellites IKONOS. L'étude a été réalisée sur le site pilote de Tikehau. Cet article présente les données, l'objectif à atteindre. Un algorithme est proposé et testé sur les données IKONOS.

Mot-clés : segmentation, classification, ligne de partage des eaux, carte de densité locale

Abstract:

This article presents a method of tree crown delineation and of census of the coconuts starting from satellite images IKONOS. The study was carried out on the pilot site of Tikehau. This article presents the data, the objective to reach. An algorithm is proposed and tested on IKONOS images data.

Keywords : segmentation, classification, watershed, local density map

1 Introduction

La Polynésie Française est située dans le Pacifique Sud. Ce pays est constitué de plus d'une centaine d'îles regroupées en cinq archipels et s'étalant sur une surface aussi grande que l'Europe. L'exploitation des cocotiers permet d'extraire l'huile de *Coprah* à partir des noix de coco mais aussi l'utilisation du bois des arbres séniles pour la menuiserie. L'exploitation de l'huile de *Coprah* est la principale ressource financière des atolls inhabités (ou très peu peuplés) sur lesquels aucune activité de perliculture n'a été implantée. Le contrôle de la production nécessite le dénombrement des cocotiers mais l'accès à ces îles isolées implique d'importants moyens à mettre en œuvre pour les déplacements.

L'utilisation de l'imagerie satellite permet de minimiser les coûts financiers puisque les déplacements ne sont plus nécessaires. De plus, elle permet l'automatisation de la tâche de recensement. Le but de cette étude est de développer un algorithme efficace et robuste pour réaliser le recensement des cocotiers à partir d'images satellite.

Le comptage automatique des cocotiers nécessite dans un premier lieu un processus de segmentation robuste des cocotiers. Une fois la segmentation réalisée, les régions sont énumérées et identifiées suivant divers critères objectifs tels que la surface de la couronne (l'ensemble des palmes formant la structure supérieure des cocotiers), sa couleur moyenne, la densité locale de la cocoteraie.

Les zones d'études sont situées sur le *Motu* principal (un *Motu* est l'un des divers îlots composant l'atoll). Ces zones sont représentatives des types de cocoteraie que nous pouvons trouver sur les autres *Motu*. Une validation humaine a été faite afin d'estimer l'erreur de détection de la méthode et une mission sur le terrain a été réalisée pour valider quantitativement la méthodologie.

2 Les données et le site d'étude

Les images optiques du satellite Ikonos sont d'une très grande qualité et fournissent une grande résolution spatiale (résolution de 1m par pixel au niveau du sol), ce qui est suffisant pour atteindre notre objectif. Nous nous sommes intéressés à l'atoll de TIKEHAU (une des îles formant l'archipel des TUAMOTU) qui est très connue des spécialistes et facilement accessible depuis TAHITI puisque cet atoll possède un aéroport, ce qui n'est pas le cas de la plupart des autres atolls (rendant ainsi leur accès plus difficile et plus long car uniquement accessibles par mer).

Les acquisitions des images ont été réalisées par le satellite IKONOS2 en 2003. La mosaïque complète de l'atoll de TIKEHAU a une définition de 22032 pixels par 15614 pixels. À cause de la structure des atolls, nous n'avons que 10% de données significatives car la plus grande partie de l'image est occupée par de l'eau. De ce fait, nous avons divisé la mosaïque en imagelettes plus petites ne contenant qu'un seul Motu et traité ainsi individuellement chacune d'entre elles (voir la figure 1).

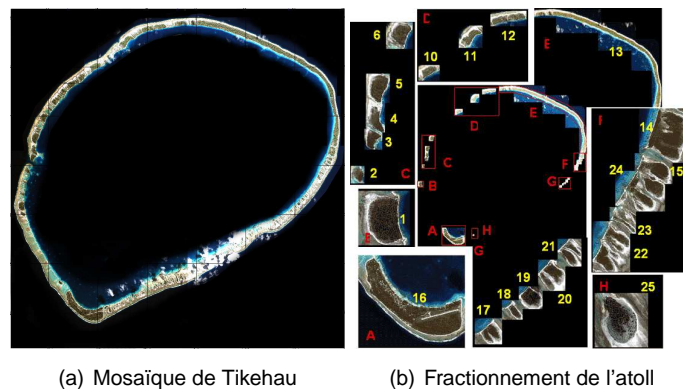


FIG. 1 – L'atoll de TIKEHAU.

3 Méthodologie

L'objectif est l'extraction des couronnes des cocotiers présents dans les images. Nous avons opté pour une variante de l'approche décrite par Le Wang [Wang 04] utilisant la segmentation par ligne de partage des eaux.

Sur les données satellites que nous avons en notre possession, nous pouvons distinguer plusieurs structures telles que (voir figure 2) l'eau de mer, les habitations, le corail et le sable, la végétation (la cocoteraie, autres végétations).

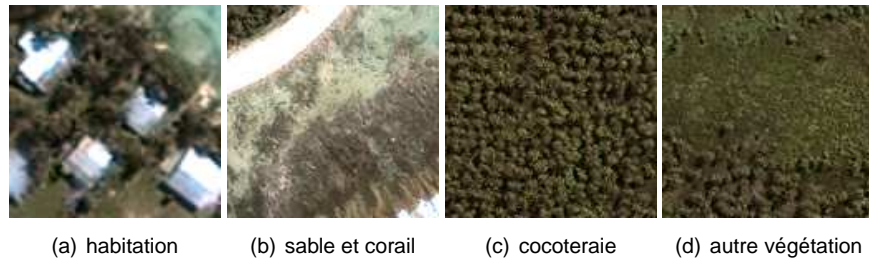


FIG. 2 – Les différents structures visibles dans les images.

Parmi la végétation représentant la cocoteraie, nous distinguons trois types de plantations :

- les plantations artificielles : elles sont distinguables des autres plantations car elles sont caractérisées par un alignement et un espacement régulier entre chaque cocotier,
- les plantations naturelles : elles ne montrent pas d'organisation spatiale spécifique, c'est-à-dire que nous n'observons aucun alignement ou espacement entre chaque cocotier et que chacun d'entre eux pousse en compétition avec ses voisins. Dans ce cas, nous pouvons observer des chevauchement de palmes entre cocotiers adjacents.
- les plantations mixtes : ce sont d'anciennes plantations artificielles qui ont été laissées à l'abandon. Ces plantations représentent un état intermédiaire entre les plantations naturelles et artificielles.

3.1 Localisation des zones végétales hautes

La première tâche consiste à discriminer les zones non-végétales des différents types de végétation (exemple : le sable et les habitations, végétation haute et basse, voir les figures 2 et 3).



FIG. 3 – Les différentes natures du sol.

La méthode utilisée est une classification bayésienne par maximum de vraisemblance basée sur une connaissance *a priori* définie par des régions d'apprentissage. La classification est régularisée en utilisant des opérateurs morphologiques du logiciel de traitement d'image ENVI : *Sieve* et *clump*. L'opérateur *sieve* permet de déclasser les ensembles connexes de pixels de même classe de taille inférieure à un certain seuil. L'opérateur *clump* est une fermeture de l'image de classification qui permet de combler une partie des pixels non classés. La relation de connexité entre deux pixels dépend du choix du système de voisinage : en 4-connexité ou en 8-connexité. De cette manière nous pouvons segmenter la végétation du reste des structures présentes dans l'image. Indépendamment, nous souhaitons séparer la végétation basse, qui est relativement homogène, de la végétation haute dans laquelle nous constatons clairement une texture différente (voir la figure 2(d)). Nous utilisons les matrices d'occurrences introduites par Anys [Anys 94] à partir desquelles nous

pouvons extraire le paramètre "Data Range". Sur ce paramètre, un filtre Gamma [Lopes 90] est appliqué puis un seuillage haut (voir figure 4) adapté est appliqué pour séparer la végétation basse de la végétation haute. Le filtre Gamma est utilisé afin d'atténuer le bruit des hautes fréquences (*Speckle*) tout en préservant les éléments dans les hautes fréquences (i.e les contours).

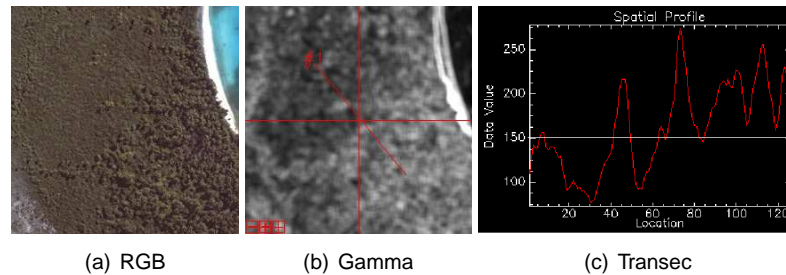


FIG. 4 – Lissage et contours.

3.2 Filtrage et détection de contours

Parallèlement, étant donné que nous ne disposons pas de la bande proche infra-rouge, nous effectuons une Analyse en Composantes Principales (ACP) et nous utilisons la première composante pour le processus d'extraction des couronnes des arbres car celle-ci contient le plus d'information [Ricotta 99] et la plus grande variance. Les images doivent être segmentées en zones homogènes de par leurs constituants végétaux. La très haute résolution de nos images fait apparaître beaucoup de détails même dans les régions homogènes et ceux-ci peuvent par la suite perturber les algorithmes de segmentation basés sur des critères d'homogénéité. Il est donc nécessaire de prétraiter les images par une diffusion anisotrope [Perona 90] afin de lisser les zones homogènes tout en conservant les discontinuités (i.e les contours). L'utilisation d'opérateurs de morphologie mathématique (*tophat*) permet d'accentuer les vallées (pixels sombres) entre les objets. Enfin, nous utilisons un détecteur de contours par Passage par zéro du Laplacien, suffisant pour le type d'images employées. À partir de l'image de contours, nous calculons une carte distance euclidienne. Les points à équidistance des contours sont des candidats comme initialisation à un processus de segmentation. La figure 5 présente la première composante de l'ACP masquée, l'image filtrée et les contours détectés.

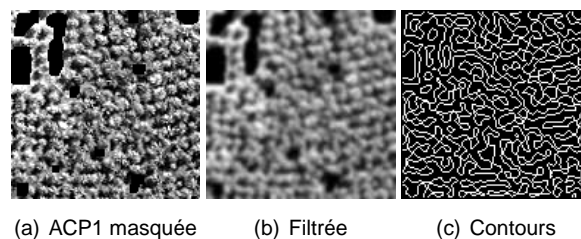


FIG. 5 – Lissage et contours.

3.3 Segmentation des couronnes

Afin de réaliser la segmentation des couronnes des cocotiers, nous allons utiliser un algorithme morphologique de segmentation par ligne de partage des eaux (LPE) ([Digabel 78] et [Beucher 79]). La LPE donne une sur-segmentation. L'algorithme LPE peut être amélioré

en utilisant une bonne initialisation donnée par les points équidistants des contours (voir 3.2), complétée par des marqueurs qui sont les maxima locaux de l'intensité lumineuse. Ils servent de sources d'immersion de la LPE. En effet, Pollock [Pollock 96] montre, à partir d'un modèle synthétique d'arbres dont la couronne extérieure est décrite par la révolution d'une ellipsoïde (voir l'équation 1 et les figures 6(a) et 6(b)), que les couronnes présentent une émittance maximale en leur centre.

$$\frac{(z - z_0)^n}{a^n} + \frac{((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)^n}{b^n} = 1 \quad (1)$$

avec x, y, z le système de coordonnées, x_0, y_0, z_0 la position de l'arbre, b le rayon de la couronne, a la hauteur de l'arbre et n caractérise la forme (si n est inférieur à 2 la forme sera conique alors que si n est supérieur à 2 la forme sera plus cylindrique).

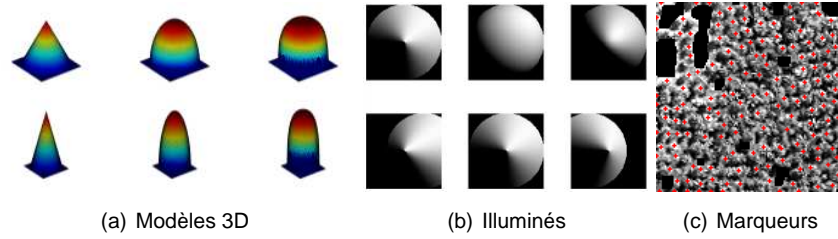


FIG. 6 – Modèle de Pollock et marqueurs.

Il est nécessaire d'affiner les résultats en discriminant les régions suivant leur topologie. Pour affiner la sursegmentation des arbres, nous avons limité l'intervalle du rayon R du cercle dans lequel chaque arbre peut être inscrit. Ceci fournit la segmentation finale dont chaque zone représente un cocotier.

La figure 7 résume l'algorithme complet d'extraction des cocotiers.

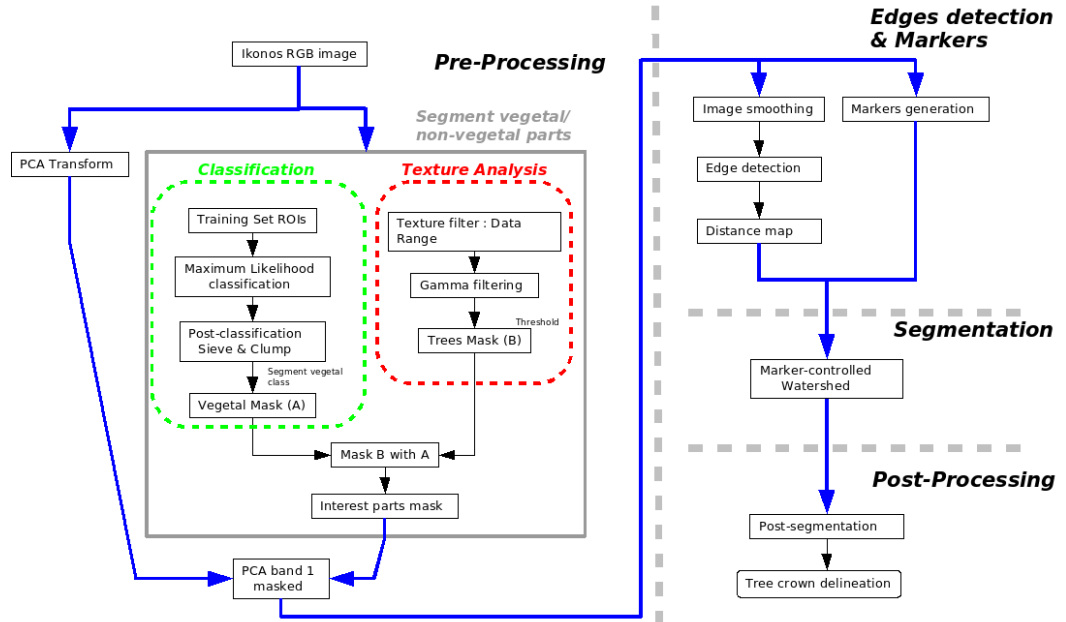


FIG. 7 – Résumé schématique du processus.

3.4 Extraction d'information

À partir de l'image segmentée, nous pouvons extraire des informations relatives à chacune des régions telles que la surface, le centre, les couleurs moyennes dans chacun des canaux rouge, vert et bleu. En utilisant les centres des couronnes, nous calculons une carte de densité locale. Cette carte recense le nombre de cocotiers que l'on trouve dans un voisinage formé d'un cercle de 12 mètres de rayon (soit 12 pixels de rayon)[F.JACQ 06]. Toutes ces informations sont utilisées par les biologistes pour leurs études sur les cocotiers. La figure 8 montre la superposition des régions sur l'image originale, la couleur moyenne du canal rouge et un exemple de carte de densité locale générée.

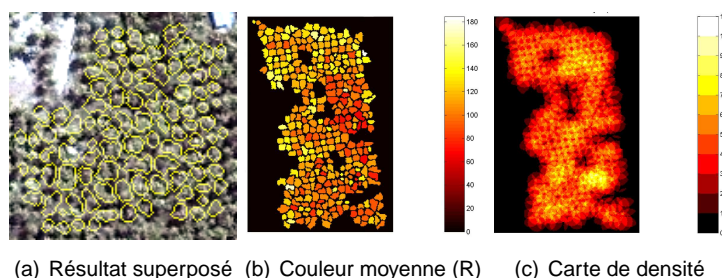


FIG. 8 – Résultats extraits.

3.5 Validation de la méthode

La méthode a été appliquée à des zones de test du *Motu* principal représentatives des diverses configurations rencontrées dans les images. Dans un premier temps, il a été nécessaire d'obtenir une vérité photo par interprétation humaine afin d'estimer l'erreur de détection. Ainsi, nous avons pu conclure que la méthode détecte les cocotiers visibles sur l'image avec une erreur de détection de 10%. Or ceci n'est pas suffisant pour valider entièrement la méthode car l'interprétation photo est soumise à un biais dû à la fatigue de l'œil sur un motif homogène induisant une difficulté à interpréter les objets. De plus, un biais de la méthode en elle-même est dû aux effets de bords (élimination des régions en contact avec le bord de l'image) qui diminuent avec l'accroissement de la taille des secteurs traités, ainsi qu'à la perte de détection de certains arbres isolés et au traitement des agglomérats d'arbres (chevauchement important des palmes).

La mission sur le terrain, effectuée pendant l'été 2006, nous a permis d'effectuer un comptage systématique sur une surface de 6.45% (soit $34352m^2$) de la surface totale des zones de test ($532870m^2$), par comptage à l'intérieur de placettes (cercles de 12m de rayon) disposées en quinconce dans les zones test. Suite à ce comptage systématique, nous pouvons conclure que la méthode détecte **58%** des cocotiers directement discernables sur les images.

Toutefois, ces chiffres ne sont pas pertinents puisque les images datent de 2003 alors que la mission terrain a été effectuée en 2006. En l'espace de trois années, des cocotiers juvéniles peuvent suffisamment grandir pour atteindre la canopée. Seules des données satellite de 2006 permettraient d'obtenir une analyse plus pertinente de l'erreur de détection.

Ce qu'il faut retenir suite à la mission terrain est que :

- la vérité photo et la réalité terrain permettent de se rendre compte de l'évolution de la cocoteraie au cours du temps. Le décalage temporel est suffisamment important pour que les cocoteraies évoluent. La mission terrain ne permet pas de valider la méthode. Pour cela, il faudrait des données satellites de 2006.

- la réalité terrain doit permettre surtout d'affiner le dénombrement en prenant en compte la typologie des cocotiers suivant la classe de strates à laquelle ils appartiennent (voir figure 9). En effet, nous avons pu différencier les 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 cocotier plus grand.

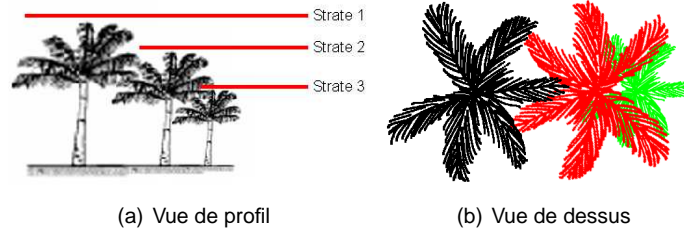


FIG. 9 – Les différentes classes de strates.

4 Conclusion et perspectives

L'élaboration d'une méthode non supervisée pour la détection des couronnes des cocotiers s'avère difficile dans notre cas. Le premier inconvénient est le choix par l'utilisateur des zones d'apprentissage pour la discrimination des zones végétales des zones non végétales. L'absence de la bande proche infrarouge ne permet pas de calculer un indice de végétation pertinent, le NDVI, dont on sait qu'il discrimine pertinemment les zones végétales des zones non-végétales.

Une première validation par interprétation humaine a été faite pour estimer les erreurs de détection. La méthode consiste à compter manuellement les cocotiers de l'image après interprétation par un être humain. Ainsi nous avons pu estimer que l'erreur de détection est de 10%. Grâce à la mission sur le terrain, nous avons pu nous rendre compte des différentes configurations dans lesquelles les arbres sont : certains sont partiellement voire entièrement sous la canopée de leurs voisins. Dans ces cas d'agglomérations d'arbres, la discrimination de ces zones est difficile. Sur le terrain, nous avons pu quantifier l'erreur de détection et valider la méthode. Notre méthode détecte 58% des arbres situés en canopée au moment de la mission terrain. Cette erreur quantifiée est de toute façon non pertinente car les images datent de 2003. Depuis le sol a évolué : une grande surface de la cocoteraie a été défrichée pour un projet de scierie afin d'exploiter le bois des arbres séniles. En l'espace de trois ans, des arbres juvéniles au moment de l'acquisition (non visible sur l'image) ont pu suffisamment grandir pour atteindre une hauteur et une surface du houppier visible sur l'image satellite. Seule une nouvelle acquisition des données pourra valider correctement la méthode.

L'acquisition de données datant de 2006 permettra non seulement de valider la méthodologie grâce à la mission terrain mais aussi l'automatisation de la méthode si nous disposons du canal proche infra-rouge.

Une étude plus avancée de la disposition spatiale des centres des cocotiers donnerait une indication sur le type de la cocoteraie (sauvage, artificielle ou laissée à l'abandon). Une autre méthode pour classifier ces différentes zones de plantation consisterait à réaliser dans un premier temps une banque de données d'images représentatives de chaque type de plan-

tation. Cette banque de données servira d'ensemble d'apprentissage pour les algorithmes de classification.

Remerciements

Les auteurs remercient le gouvernement de la Polynésie Française et son Département de l'Urbanisme d'avoir mis à notre disposition les images Ikonos dont la société Space Imaging (<http://www.spaceimaging.com>) est propriétaire ; ainsi que le Service du Développement Rural d'avoir permis d'effectuer la mission sur le terrain et qui est le destinataire de cette étude. Merci aussi à l'Université de la Polynésie Française et le Laboratoire Terre et Océan de nous avoir accueillis dans leurs bâtiments lors de la mission de trois mois sur le terrain.

5 Bibliographie

Références

- [Anys 94] H. Anys, H. Bannari, D.C. He & D. Morin. *Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images*. Numéro 3, pages 231–245, Strasbourg, France, 1994.
- [Beucher 79] S. Beucher & C. Lantuéjoul. *Use of watersheds in contour detection*. In Proc. International workshop on Image Processing, Real-Time Edge and Motion Detection/Estimation, Rennes, September 1979.
- [Digabel 78] H. Digabel & C. Lantuéjoul. *Iterative algorithms*. In Actes du Second Symposium Européen d'Analyse Quantitative des Microstructures en Sciences des matériaux, Biologie et Médecine, Caen, 4-7 Octobre 1977, pages 85–99. Riederer Verlag, Stuttgart, J.-I. Chermant edition, 1978.
- [F.JACQ 06] F.JACQ. *Evaluation quantitative et qualitative des peuplements de cocotiers sur Tikehau*. Rapport technique, Service du Développement Rural - Département FOGER, Avril 2006.
- [Lopes 90] A. Lopes, E. Nezry & Touzi. *Adaptive speckle filters and Scene heterogeneity*. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, no. 6, pages 992–1000, 1990.
- [Perona 90] P. Perona & J. Malik. *Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion*. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 12, no. 7, pages 629–639, 1990.
- [Pollock 96] R.J. Pollock. *The automatic Recognition of Individual trees in Aerial Images of Forests Based on a Synthetic Tree Crown Image Model*. PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1996.
- [Ricotta 99] C. Ricotta & C. Avena. *The influence of principal component analysis on the spatial structure of a multispectral dataset*. International Journal of Remote Sensing, vol. 20, no. 17, pages 3367–3376, 1999.
- [Wang 04] L. Wang, P. Gong & G. S. Biging. *Individual Tree-Crown Delineation and Treetop detection in High-spatial-Resolution Aerial Imagery*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 70, no. 3, pages 351–357, March 2004.