Fusion d'images HRV de SPOT panchromatique et multibande à l'aide de la méthode ARSIS : apports à la cartographie urbaine

Thierry Ranchin, Lucien Wald

▶ **To cite this version:**

Thierry Ranchin, Lucien Wald. Fusion d'images HRV de SPOT panchromatique et multibande à l'aide de la méthode ARSIS : apports à la cartographie urbaine. 6èmes journées scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUPELF-UREF : " Télédétection des milieux urbains et périurbains ", Oct 1995, Liège, Belgique. pp.283-290. hal-00466630

HAL Id: hal-00466630

https://minesparis-psl.hal.science/hal-00466630

Submitted on 22 Apr 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ranchin T., Wald L., 1997, Fusion d'images HRV de SPOT panchromatique et multibande à l'aide de la méthode ARSIS : apports à la cartographie urbaine», In Actes des 6èmes journées scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUPELF-UREF : " Télédétection des milieux urbains et périurbains ", (1997) 6èmes journées scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUPELF-UREF : " Télédétection des milieux urbains et périurbains " (1995)

Fusion d'images HRV de SPOT panchromatique et multibande à l'aide de la méthode ARSIS : apports à la cartographie urbaine

THIERRY RANCHIN et LUCIEN WALD

Groupe télédétection & modélisation, Centre d'énergétique, École des mines de Paris, B.P. 207, F-06904 Sophia Antipolis cedex, France; téléphone : +33 93-95-75-75; télécopieur : +33 93-95-75-35; courrier électronique: ranchin@cenerg.cma.fr, wald@cenerg.cma.fr

Résumé

L'objectif de cette communication est de présenter une nouvelle méthode permettant la production d'images à haute résolution spatiale, réunissant les qualités de la haute résolution spatiale et de la haute résolution spectrale des satellites d'observation de la Terre et plus particulièrement du capteur HRV de SPOT pour la cartographie urbaine. Les techniques de cartographie urbaine s'appuient sur des algorithmes de classification, dirigée ou non. La haute résolution spatiale ayant, pour cette application, un intérêt prépondérant, des méthodes permettant d'améliorer la résolution spatiale des images multibandes XS ont été développées. Une analyse de ces méthodes a montré qu'elles ne respectaient pas le contenu spectral original des images. La méthode ARSIS (amélioration de la résolution spectrale par injection de structures) a été développée pour fournir des images multibandes à haute résolution spatiale (dans ce cas 10 m). Elle permet la préservation de l'information originale de ces images et, par conséquent, d'améliorer l'efficacité des classificateurs. Elle s'appuie sur la transformée en ondelettes et l'analyse multirésolution, qui sont brièvement présentées. Une démonstration de cette méthode est présentée. Une évaluation quantitative a montré que la méthode ARSIS fournit de meilleurs résultats que les autres méthodes en termes de

préservation de la qualité spectrale des images. Des classifications réalisées sur les données originales et sur les images résultant de la fusion sont comparées.

1. Introduction

Avec l'apparition des satellites d'observation de la Terre à très haute résolution spatiale (de l'ordre d'un mètre), la cartographie urbaine est l'une des applications les plus prometteuses de la télédétection. La plupart des satellites d'observation de la Terre fournissent ou fourniront une image à haute résolution spatiale et plusieurs images à moins bonne résolution spatiale, mais à haute résolution spectrale. Les techniques de cartographie urbaine s'appuient sur la photo-interprétation et sur des classifications dirigées ou non, permettant de faciliter la tâche du photo-interprète. Les techniques actuelles d'amélioration de la résolution spatiale des images ont été analysées par MANGOLINI *et al.* (1995). La plupart ont en commun le non-respect du contenu spectral des images originales. Seule la duplication de pixels respecte l'information originale de ces images, mais ne tire aucun avantage de la présence de l'image panchromatique.

La méthode ARSIS développée conjointement par l'Aérospatiale et l'École des mines de Paris (RANCHIN, 1993; RANCHIN *et al.* 1994; MANGOLINI, 1994) permet, dans un ensemble d'images de résolutions spatiale et spectrale différentes, d'amener les images ayant une moins bonne résolution spatiale à la meilleure résolution spatiale disponible dans l'ensemble de données. Cependant, la qualité spectrale des images dont on améliore la résolution spatiale est préservée. Les images obtenues peuvent être utilisées à d'autres fins que la simple visualisation et ainsi améliorer, par exemple, la précision des classifications réalisées sur les images multibandes originales. Cette méthode s'appuie sur la transformée en ondelettes et l'analyse multirésolution décrites brièvement à la section 2. La méthode ARSIS est présentée à la section 3. Un exemple d'application de cette méthode sur un

extrait d'une scène HRV de SPOT de la ville de Barcelone (Espagne) est présenté et évalué à la section 4. Des classifications binaires réalisées sur les images originales et sur les images résultant du processus de fusion sont comparées. En conclusion, les autres cas déjà étudiés sont présentés et les perspectives d'utilisation de cette méthode évoquées.

2. Transformée en ondelettes et analyse multirésolution

L'analyse multirésolution a été introduite par MALLAT (1989). Cet outil mathématique permet de calculer des approximations successives d'une même image à des résolutions spatiales de plus en plus grossières. Elle peut être représentée par une pyramide (fig. 1) dont la base est l'image originale et dont les différentes approximations sont les différents étages de la pyramide. La limite théorique de cette analyse est une image d'un pixel qui représenterait la moyenne de l'image de départ.

La différence d'information existant entre deux approximations successives est modélisée par des coefficients d'ondelettes calculés à partir de la transformée en ondelettes. Les bases d'ondelettes sont construites par dilatations et translations d'une fonction unique, appelée ondelette-mère. Le signal où l'image est décomposée dans cette base et une représentation temps-fréquence (pour un signal) ou espace-échelle (pour une image) est obtenue.

Cette opération d'analyse faisant appel à la transformée en ondelettes est inversible et à reconstruction exacte. Ainsi, à partir d'une approximation de l'image d'origine (un étage de la pyramide) et des images de coefficients d'ondelettes (représentant la différence d'information entre deux approximations successives), il est possible de reconstruire exactement l'image d'origine.

RANCHIN et WALD (1993) ont présenté quelques possibilités d'utilisation de ces outils dans le cadre de la télédétection; pour une introduction plus mathématique, on peut

consulter par exemple MALLAT (1989), RIOUL and VETTERLI (1991), DAUBECHIES (1992) et MEYER (1992).

3. Méthode ARSIS

Dans cette section, la méthode ARSIS est présentée pour le cas du capteur HRV de SPOT. Ce capteur fournit une image panchromatique P (résolution spatiale : 10 m) et trois images XSi (résolution spatiale : 20 m). La méthode ARSIS permet de synthétiser des images XSi-HR (i = 1 à 3 ; HR = haute résolution) à la résolution spatiale de 10 m tout en préservant la qualité spectrale des images XSi originales. Le schéma de cette méthode est présenté à la figure 2.

Une analyse multirésolution utilisant la transformée en ondelettes est appliquée à l'image P. Des approximations de cette image à 20 m, 40 m, 80 m, etc, sont calculées (opération ①). Les différences d'information entre les approximations successives de l'image originale sont modélisées par les coefficients d'ondelettes. De manière similaire, l'image XSi est décomposée et des approximations à 40 m, 80 m, etc, sont calculées (opération ②). Un modèle de transformation des coefficients d'ondelettes de l'image P vers les coefficients d'ondelettes de l'image XSi pour une résolution spatiale donnée est calculé (opération ③). Ce modèle est alors inféré et appliqué à l'image de coefficients d'ondelettes P représentant la différence d'information entre l'image P à la résolution spatiale de 10 m et son approximation à la résolution spatiale de 20 m (opération ④). Cette opération permet de calculer les coefficients d'ondelettes nécessaires à la synthèse de l'image XSi-HR. Cette synthèse s'effectue par reconstruction (opération ⑤, inverse de l'analyse) à partir des coefficients d'ondelettes synthétisés et de l'image originale XSi.

Cette méthode est applicable à d'autres résolutions spatiales et à d'autres bandes spectrales d'après le même principe.

4. Exemple : extrait d'une scène HRV sur Barcelone (Espagne)

La scène HRV traitée a été acquise sur la ville de Barcelone (Espagne) le 11 septembre 1990. Barcelone est une cité située au Nord-Est de l'Espagne sur la côte méditerranéenne. Cette scène a un contenu thématique très riche. Elle comprend un port, un aéroport, des zones urbaines avec des infrastructures routières et autoroutières ainsi qu'un réseau hydrologique, des champs cultivés, des zones montagneuses et une végétation de type méditerranéen. Elle est composée de l'image P et des images multibandes XSi, géométriquement superposables.

La méthode ARSIS a été appliquée à cet ensemble d'images. La figure 3a présente un extrait de l'image XS1 originale. Elle comprend des champs cultivés de petite taille (de l'ordre de quelques centaines de mètres carrés) situés dans sa partie inférieur gauche, une zone urbaine dans sa partie supérieure gauche, ainsi que des routes et autoroutes visibles de manière distincte. Cependant, les échangeurs sont difficilement discernables sur cette image. La figure 3b présente l'image XS1-HR résultant du processus de fusion. La qualité visuelle de cette image est due à l'introduction de l'information extraite dans l'image P et modélisée afin de préserver la qualité spectrale de cette image. Ainsi, on distingue nettement sur cet extrait les différents échangeurs, le réseau routier dans la partie supérieure gauche ainsi que les grands bâtiments.

L'apport quantitatif de la méthode ARSIS ne peut s'évaluer qu'en confrontant le résultat du processus de fusion à une référence. Cependant, il n'est pas possible de disposer actuellement d'images XSi à la résolution spatiale de 10 m. Afin de contourner ce problème, on simule un ensemble d'images en décalant les résolutions spatiales d'un facteur 2. Ainsi, l'ensemble d'images est composé d'une image P à 20 m et d'images XSi à 40 m. En appliquant la méthode ARSIS, on obtient des images XSi* à la résolution spatiale de 20 m

que l'on peut comparer aux images XSi originales. Bien qu'on ne puisse déduire de cette comparaison que la qualité des images XSi-HR soit similaire à celle des images XSi* (voir MANGOLINI 1994, p. 54-55), cette opération permet de se faire une idée de la qualité des résultats obtenus. Cette méthodologie a été appliquée par MANGOLINI *et al.* (1995) et a permis de montrer que la méthode ARSIS fournit de meilleurs résultats que les autres méthodes en termes de préservation de la qualité spectrale des images.

Étant donné le respect de la qualité spectrale amené par cette méthode, il est pertinent de comparer des classifications réalisées sur les images XSi et XSi-HR. La figure 4a présente une classification non dirigée, réalisée à partir d'une trichromie des images XSi, dont l'objet est la mise en évidence d'une classe "réseau routier". L'algorithme utilisé est une classification ascendante hiérarchique (ALBUISSON 1993). La classe "réseau routier" est présentée en blanc.

La figure 4b présente la même démarche appliquée aux images synthétisées XSi-HR. La précision apportée dans cette classification par la haute résolution spatiale, permet de montrer de manière significative son apport à la cartographie urbaine. La partie supérieure gauche de cette figure permet de distinguer nettement le réseau routier dans cette zone urbanisée. Il ne nous est cependant pas possible d'attester que les pixels de cette classe dans les deux images sont effectivement des pixels "réseau routier" par manque de vérité-terrain.

5. Conclusions et perspectives

Nous avons présenté dans cet article une méthode permettant de synthétiser à partir d'un ensemble d'images de différentes résolutions spatiales et spectrales, des images multibandes à la plus haute résolution spatiale disponible. La qualité spectrale des images synthétisées est préservée de par l'utilisation d'outils mathématiques puissants : la transformée en

ondelettes et l'analyse multirésolution. Cette qualité spectrale nous a permis d'améliorer la qualité de classifications en zone urbaine et d'obtenir une meilleure définition des classes.

Bien que présentée dans le cas du capteur HRV, la méthode ARSIS est applicable à d'autres cas. Elle fait actuellement l'objet d'autres études et a été appliquée notamment à la fusion d'images P du capteur HRV (10 m) et TM de Landsat (30 m et 120 m pour la bande 6) et à la fusion d'images TM (bande 6 : 120 m, autres bandes : 30 m) pour l'étude des pollutions de l'air en ville. Le cas du futur satellite SPOT 4 a aussi été exploré (RANCHIN and WALD 1995). Une étude est actuellement en cours sur des simulations des futurs satellites SPOT 5-6. Elle permettra de valider la démarche appliquée pour l'évaluation quantitative de la méthode ARSIS et d'attester son apport à la cartographie urbaine. La méthode ARSIS a aussi été appliquée à la fusion d'images multibandes XS du capteur HRV de SPOT (20 m) et du satellite d'origine russe KVR-1000 (résolution spatiale 2 m, bande spectrale 0,51 - 0,76 μm) pour la cartographie urbaine fine (discrimination des différents types de routes, de bâtiments, des zones de végétation) et fera l'objet d'une publication future.

Références

ALBUISSON, M. 1993. Codage trichrome et classification. *in* Actes du colloque de Toulouse. Outils micro-informatiques et télédétection de l'évolution des milieux : troisièmes journées scientifiques du réseau de télédétection de l'UREF, 13-16 novembre 1990, Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy (Québec) p. 167-173.

DAUBECHIES, I. 1992. Ten lectures on wavelets. CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics 61, Society for industrial and applieds mathematics (SIAM), Philadelphia, USA, 357 p.

MALLAT, S.G. 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, p. 674-693.

MANGOLINI, M. 1994. Apport de la fusion d'images satellitaires multicapteurs au niveau pixel en télédétection et photo-interprétation. Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 174 p.

MANGOLINI, M., RANCHIN, T. et WALD, L. 1995. Évaluation de la qualité des images multispectrales à haute résolution spatiale dérivées de SPOT. *in* Comptes rendus du colloque "Qualité de l'interprétation des images de télédétection pour la cartographie", Grignon, 1-3 septembre 1994, Société française de photogrammétrie et télédétection (SFPT), Bulletin n° 137, p. 24-29.

MEYER, Y. 1992. Les ondelettes: algorithmes et applications. Armand Colin éditeurs, Paris, 172 p.

RANCHIN, T. 1993. Applications de la transformée en ondelettes et de l'analyse multirésolution au traitement des images de télédétection. Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 146 p.

RANCHIN, T. and WALD, L. 1993. The wavelet transform for the analysis of remotely sensed images. International Journal of Remote Sensing, vol. 14, n° 3, p. 615-619.

RANCHIN, T. et WALD, L. 1995. Preparation of SPOT 4 mission: production of high resolution (10 m) multispectral images using the ARSIS method. *in* Proceedings of 15th symposium of EARSeL, Progress in Environmental Research and Applications, Basel, Switzerland, 4-6 septembre 1995 (sous presse).

RANCHIN, T., WALD, L. and MANGOLINI, M. 1994. Efficient data fusion using wavelet transform: the case of SPOT satellite images. Proceedings of the SPIE's 1993 International Symposium on Optics, Imaging and Instrumentation, vol. 2034, p 171-178.

RIOUL, O. and VETTERLI, M. 1991. Wavelets and signal processing. IEEE Signal Processing Magazine, vol. 8, p. 14-38.

Liste des figures

Figure 1. Pyramide représentant une analyse multirésolution

Figure 2. Méthode ARSIS

Figure 3. (a) Extrait de la bande XS1du capteur HRV de SPOT sur la ville de Barcelone (Espagne); (b) image XS1-HR synthétisée à l'aide de la méthode ARSIS sur la même zone

Figure 4. (a) Classification réalisée à partir d'une combinaison colorée des images XSi originales; (b) classification réalisée à partir d'une combinaison colorée des images XSi-HR. La classe blanche représente dans les deux cas le réseau routier.

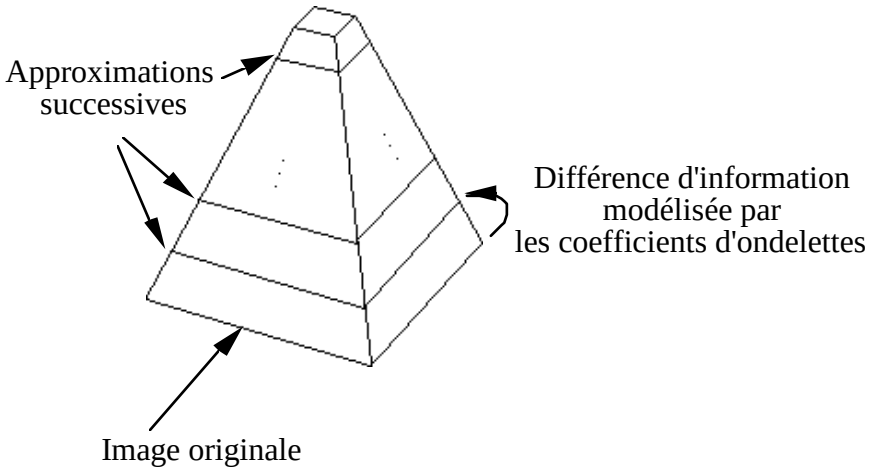
Approximations
successives
Différence d'information
modélisée par
les coefficients d'ondelettes
Image originale

Figure 1

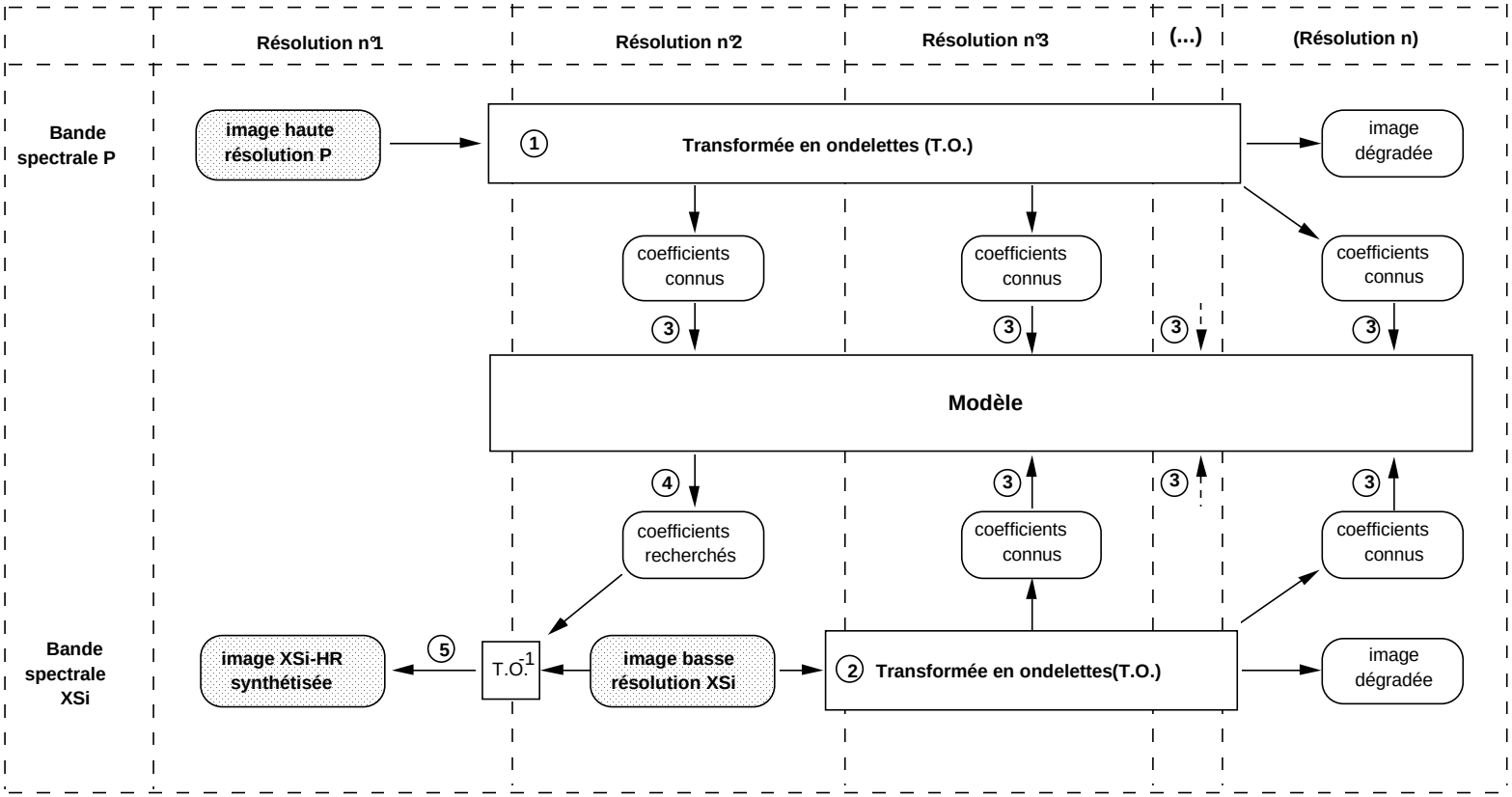
Résolution n°1
Résolution n°2
Résolution n°3
(...)
(Résolution n)
Bande spectrale P
image haute résolution P
1
Transformée en ondelettes (T.O.)
image dégradée
coefficients connus
coefficients connus
coefficients connus
3
3
3
3
Modèle
4
3
3
3
coefficients recherchés
coefficients connus
coefficients connus
Bande spectrale XSi
image XSi-HR synthétisée
5
T.O.-1
image basse résolution XSi
2
Transformée en ondelettes(T.O.)
image dégradée

Figure 2

Figure 3a

Figure 3b

⌊ ~ 500 m ⌋

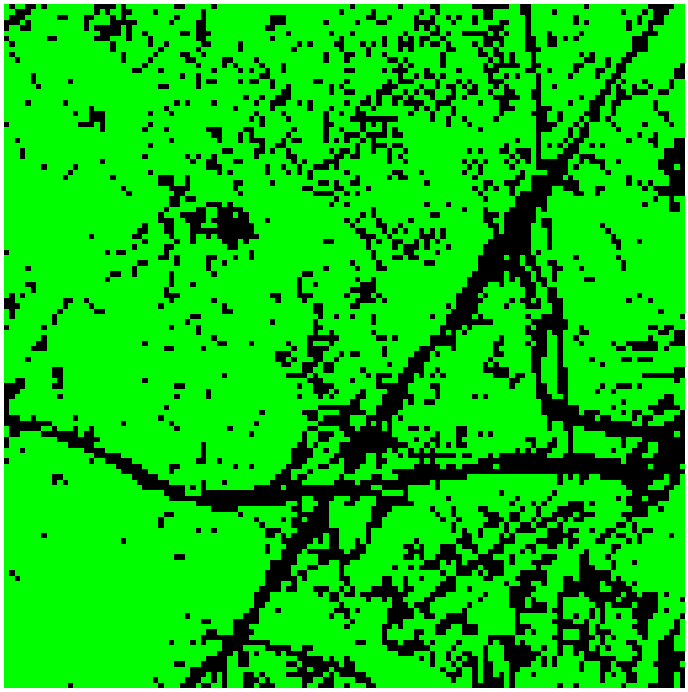

Figure 4a

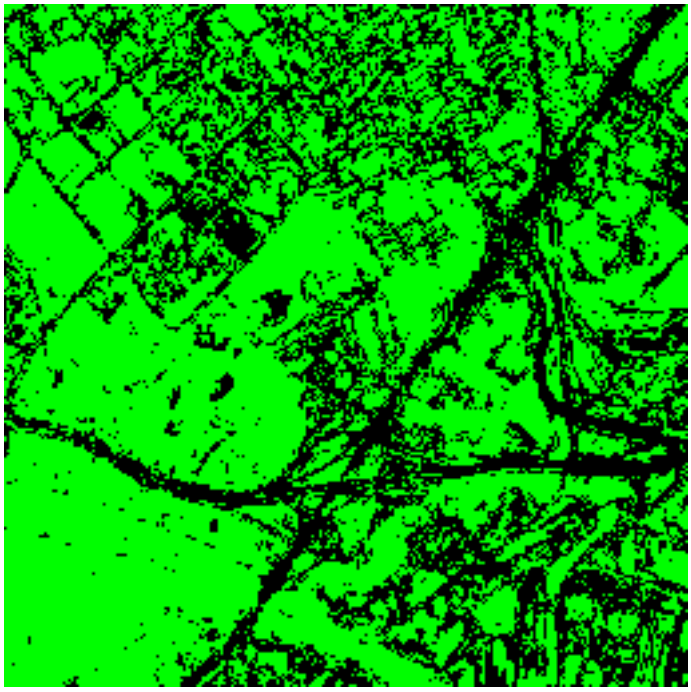

Figure 4b

| ~ 500 m |