



HAL
open science

Apport des images à Très Haute Résolution Spatiale et de la photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques

Marine Stromboni

► **To cite this version:**

Marine Stromboni. Apport des images à Très Haute Résolution Spatiale et de la photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques. Biodiversité et Ecologie. 2015. dumas-01285578

HAL Id: dumas-01285578

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01285578>

Submitted on 9 Mar 2016

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.

MASTER 2

Domaine : Sciences Humaines et Sociales
Mention : Sciences du Territoire

Spécialité Professionnelle
**Systemes Territoriaux, Aide à la Décision,
Environnement**

Apport des images à Très Haute Résolution Spatiale et de la photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques

Réalisé à Institut national de recherche en sciences et technologies pour
l'environnement et l'agriculture

Mémoire soutenu le 7 septembre 2015.

Devant un jury composé de :

Responsables : M. Borgniet (Ingénieur de recherche, Irstea Grenoble)
M. Breton (Ingénieur d'études, Irstea Grenoble)

Examineurs : M. Bigot (Professeur des universités, IGA-UJF, Laboratoire LHTE)
M. Giazzi (Maître de conférences, IGA-UJF, Laboratoire Pacte)

STROMBONI Marine
M2 STADE
ANNEE 2014-2015

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'Irstea d'avoir accepté ma candidature pour ce stage et de m'avoir permis de me former à la télédétection et à la photogrammétrie, techniques qui m'intéressent.

Je remercie tout particulièrement les membres du projet DYNARP, pour leur intérêt, leurs conseils et leur aide lors des sorties terrain.

Je remercie mes tuteurs de stage, Laurent borgniet et Vincent Breton, qui m'ont suivi durant ces 6 mois, conseillé. Je lui suis reconnaissante pour le temps qu'ils m'ont accordé et les connaissances qu'ils ont su partager avec moi. Ils ont su me conseiller et m'orienter tout en me laissant explorer des pistes et chercher par moi-même.

Je remercie les personnes présentes à mon jury, Sylvain Bigot (Professeur des universités, IGA-UJF, Laboratoire LHTE), Laurent Borgniet (Ingénieur de recherche, IRSTEA Grenoble) et Franck Giazzi (Maître de conférences, IGA-UJF, Laboratoire Pacte), j'espère que ce mémoire réussi à capter votre attention.

De plus, je remercie toutes les personnes qui ont fait que mon stage s'est bien déroulé et particulièrement : les colocs ; les autres stagiaires ; les « footeux ».

Enfin, je remercie mes parents qui m'ont donné l'occasion (financière) de faire une année d'études de plus.

RESUME

Cette étude porte sur l'évaluation et de la quantification de l'apport des images à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) et de la photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques. Le site d'étude se situe sur la commune de Serrières, le long du Rhône, dans le département de l'Ardèche (07).

Cette évaluation porte sur les résultats des classifications réalisées à partir des images satellites et aériennes : Pléiades multi-date, BD-ORTHO IRC, images brutes stéréoscopées de l'ORTHO IRC, images prises par drone (résolution spatiale subdécimétrique). D'autre part, les modèles Numériques de Surface issus des images brutes stéréoscopiques de l'ORTHO IRC et les images prises par drone ont apporté une information supplémentaire aux classifications.

Les résultats des 4 classifications sont comparés grâce aux données de « vérité terrain » relevés au GPS.

ABSTRACT

This study concerns the evaluation and the evaluation of the contribution of Very High Spatial Resolution (VHRS) images and the photogrammetry for the detection of the Asian knotweeds. The site of study is situated on the city of Serrières, along the Rhône, in the department of Ardèche (07).

This evaluation concerns the results of classifications realized from the satellite and air pictures: multi-date Pléiades images, BD-ORTHO IRC, stereo-images by the ORTHO IRC, images taken by drone (subdecimetric spatial resolution). The results of 4 classifications are compared thanks to the data of "truth ground" taken with a GPS.

The stereo-images by the ORTHO IRC and the images taken by drone give the opportunity to create a Digital Model of Surface to bring an additional information to classifications.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	Analyse en Composante Principale
DYNARP	Dynamique et gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, impacts et perceptions
GLCM	Grey Level Co-occurrence Matrix
HRS	Haute Résolution Spatiale. Correspond à une résolution spatiale inférieure à 10m
IRSTEA	Institut de Recherche recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
ISSG	Invasive Species Specialist Group
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MNS	Modèle Numérique de Surface
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MRS	Moyenne Résolution Spatiale
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
THRS	Très Haute Résolution Spatiale

SOMMAIRE

Remerciements.....	1
résumé.....	2
Liste des abréviations.....	3
Introduction.....	5
1. Contexte scientifique, du projet initial à la problématique finale.....	7
1.1. Contexte général de l'étude.....	7
1.2. Problématique générale.....	8
1.3. Contexte géographique.....	10
1.4. Etat des connaissances : l'utilisation des techniques de télédétection et de photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques.....	11
2. Méthodologie de travail.....	18
2.1. Travail préparatoire.....	18
2.2. La classification orientée-objet des renouées asiatiques.....	24
2.3 validation de la classification.....	27
3. Résultats et discussion.....	29
3.1.Résultats des différentes classifications.....	29
3.2.Discussion et limites des résultats.....	35
3.3. Perspectives: vers une automatisation de la méthode de classification ?.....	39
Conclusion.....	40
Bibliographie.....	42
Filmographie.....	45
Table des figures.....	46
Annexes.....	50

INTRODUCTION

Les organismes exotiques envahissants sont considérés comme la seconde cause d'érosion de la biodiversité à l'échelle mondiale, après la destruction des habitats naturels (Simberloff, 2003). Les renouées asiatiques, plantes invasives introduites en Europe dès 1869, figurent dans la liste des 100 espèces exotiques envahissantes les plus néfastes au monde établie par l'IUCN. Les renouées asiatiques se propagent de manière exponentielle sur le territoire européen, depuis son introduction au XIXe siècle (Child et al., 2000), générant des problèmes en termes de gestion, de sécurité et de biodiversité.

L'Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (Irstea) de Grenoble coordonne un projet de recherche portant sur la Dynamique et la gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, leurs perceptions et les impacts qui en résultent (DYNARP). L'objectif est de comprendre l'évolution et l'expansion des renouées asiatiques le long des infrastructures linéaires de transport, à l'échelle de la tache comme à l'échelle paysagère.

Mon travail de recherche s'insère dans la partie « analyse spatiale » du projet. Il consiste à rechercher la meilleure méthode de classification des renouées asiatiques pour rendre compte de la dynamique spatio-temporelle de ces renouées à l'échelle paysagère. Pour cela, je m'appuie sur des données spatiales de différentes résolutions spatiales (images satellites à Très Haute Résolution Spatiale, images aériennes, images issues de drone) et de différentes techniques de classification.

En effet, la classification des plantes invasives grâce à des images à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) donne de meilleurs résultats qu'une classification créée avec des images à résolution spatiale moyenne (inférieure à 10 mètres) (Shouse et al., 2013). Les constantes évolutions technologiques apportent des données aériennes de plus en plus précises et complexes. Une détection automatique de précision grâce à l'imagerie satellite ou aérienne THRS peut offrir de nouvelles perspectives en terme de cartographie et donc de télédétection de ces plantes invasives.

Les travaux de classification des taches de renouées asiatiques déjà réalisés donnent des résultats globalement peu satisfaisants. L'utilisation d'images aériennes prises à différentes périodes de l'année – l'une en période végétative, l'autre en période non végétative – permet d'améliorer la qualité de la classification (Dorigo et al., 2012). L'ajout d'informations issues de nouvelles données spatiales pourrait augmenter la qualité de détection. La création d'un modèle Numérique de Surface (MNS) et l'utilisation de couches dérivées (pente, hauteur, courbure) du MNS pourraient également contribuer à la détection plus précise des renouées asiatiques.

L'objectif de mon stage est de répondre à la question suivante : dans quelle mesure l'utilisation d'images THRS et de la photogrammétrie permet-elle d'améliorer la qualité de détection automatisée des renouées asiatiques ? En s'appuyant sur une collection de données spatiales sur un même site d'étude (Serrières, département de l'Ardèche), ce travail se base sur la comparaison de différentes sources de données et leurs classifications:

- BD ortho IRC IGN (2012) ;
- Images satellites multi-date Pléiades (2013) ;
- Images brutes IRC IGN (2013) ;
- Images issues d'un drone (2015).

Mon travail a consisté à réaliser et comparer quatre classifications issues de ces différentes sources et méthodes d'analyses de données.

Au vu des recherches effectuées et des articles scientifiques déjà publiés sur le sujet, l'utilisation d'images THRS et des informations supplémentaires générées par le Modèle Numérique de Surface (MNS) devrait augmenter la qualité de la classification. Cette étude s'inscrit dans une démarche inductive et empirique avec la création et l'utilisation de données d'altitude THRS (MNS) pour classer les taches de renouées asiatiques.

Le présent rapport présente en premier lieu le contexte scientifique du projet. Sont ensuite abordées les généralités sur les renouées asiatiques, ainsi que sur les techniques d'analyse spatiale utilisées, soit la télédétection et la photogrammétrie. Enfin, la méthodologie de classification est exposée, suivie des résultats et d'une discussion.

1. CONTEXTE SCIENTIFIQUE, DU PROJET INITIAL A LA PROBLEMATIQUE FINALE

1.1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

1.1.1. LE CENTRE DE RECHERCHE IRSTEA

L'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (Irstea), est divisé en 9 centres répartis en France. L'objectif central de cet établissement public de recherche est la production « *de solutions concrètes au bénéfice de la décision publique et débouchant sur l'action* » (site internet IRSTEA), tout en travaillant en collaboration avec des partenaires privés ou publics. La gestion de la durabilité des territoires, la prévision et la prévention des risques naturels et environnementaux, et la préservation de la biodiversité constituent les principaux enjeux auxquels Irstea vise à répondre.

Le centre Irstea de Grenoble est spécialisé dans la recherche et l'expertise pour la connaissance et la gestion des écosystèmes, des territoires et des risques naturels en montagne. Il est constitué de trois unités de recherche : développement des territoires montagnards (DTM), érosion torrentielle, neige et avalanche (ETNA) et écosystèmes montagnards (EM).

1.1.2. LE PROJET DE RECHERCHE DYNARP

Le projet de recherche « Dynamique et gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, impacts et perceptions » (DYNARP) s'inscrit dans le programme de recherche Infrastructures de Transports Terrestres, Ecosystèmes et Paysages (ITTECOP) ; conduit par le ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (MEDDE), en coordination avec l'ADEME.

Le projet DYNARP se questionne sur la perception et la dynamique paysagère des renouées asiatiques en lien avec la biodiversité et les corridors écologiques environnants. Les facteurs majeurs de développement spatio-temporel des populations de renouées sont étudiés sur plusieurs années: les modalités de gestion, les facteurs de milieu (biotiques et abiotiques) à l'échelle locale et paysagère, les contaminations liées à l'activité humaine (site internet ITTECOP).

1.1.3. LA MISSION DE RECHERCHE

Ce stage s'inscrit dans le volet télédétection et analyse spatiale du projet de recherche DYNARP-ITTECOP. Il vise à mettre au point et évaluer des méthodes de détection et de caractérisation des taches de renouées asiatiques à partir de données aériennes et satellitaires THRS.

1.2. PROBLEMATIQUE GENERALE

1.2.1. PROBLEMATIQUE

Mon stage vise à donner des éléments de réponse à la question suivante : dans quelle mesure l'utilisation d'images à très haute résolution spatiale (THRS) et de la photogrammétrie permet-elle d'améliorer la détection automatisée des renouées asiatiques ?

Cette problématique principale se divise en sous-questions :

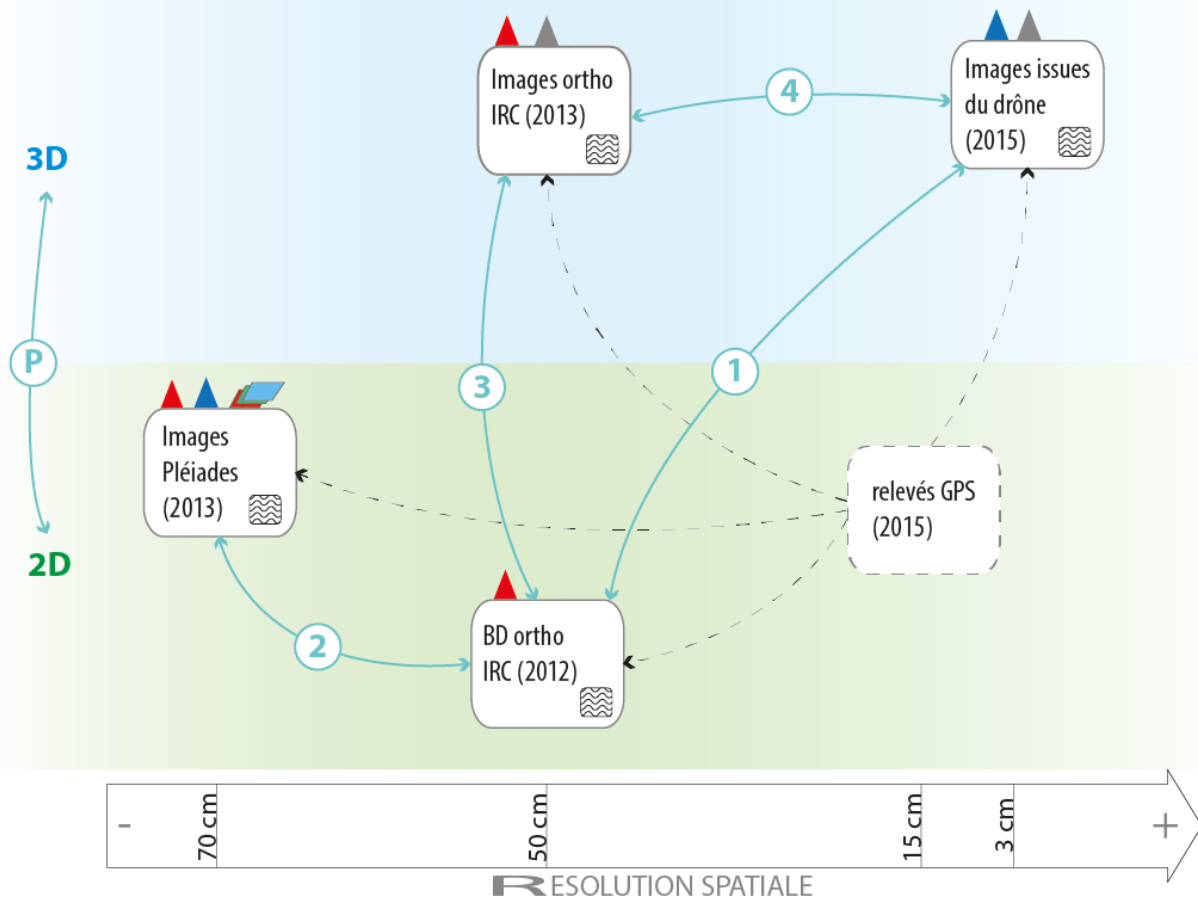
- Dans quelle mesure l'utilisation d'images satellites multi-date améliore-t-elle les résultats de la classification des renouées asiatiques ?
- Dans quelle mesure l'apport d'images issues d'un drone d'une résolution spatiale sub-décimétriques améliore-t-il les résultats de la classification ?
- L'apport des couches dérivées (pente, courbure, ombrage) issues des méthodes de photogrammétrie améliore-t-il les résultats de la classification ?

1.2.2. OBJECTIFS

En premier lieu, l'objectif est de quantifier, en termes de degré de précision pour la classification, l'apport d'un modèle numérique de surface et de ses couches dérivées.

La figure suivante (Figure 1) présente les différentes données aériennes et satellitaires utilisées, les quatre types de classifications qui sont comparées, les interactions entre celles-ci et les questions qui s'y rattachent.

Apport de l'utilisation d'images à Très Haute Résolution Spatiale et de la photogrammétrie : données utilisées, classifications et interactions



P Dans quelle mesure le couplage de l'utilisation d'images à très haute résolution spatiale (THRS) ainsi que de la photogrammétrie permet-il la détection automatisée des renouées asiatiques ? comparaison

1 Le couplage des couches dérivées du modèle Numérique de Surface (MNS) et des couches visibles (Rouge, Vert, Bleu) donne-t-il de meilleurs résultats que l'utilisation seule de la bande Infrarouge ?

2 La précision de la classification est-elle augmentée par l'utilisation d'images satellites multi-dates, comparée à la classification mono-date issue de la BD ortho IRC ?

3 La précision de la classification est-elle augmentée par le couplage de l'utilisation de la bande Infrarouge et des couches dérivées du Modèle Numérique de Surface (MNS), comparée à la classification issue de la BD ortho IRC ?

4 L'information générée par le Modèle Numérique de Surface issue des images drone (résolution spatiale de 3 cm) augmente-t-elle la précision de la classification, comparée à la classification issue du Modèle Numérique de Surface des images ortho IRC (résolution spatiale de 2 m) ?

Les données utilisées

- ▲ infra-rouge
- ▲ visible (Rouge - Vert - Bleu)
- ▲ Modèle Numérique de Surface (MNS)
- donnée de type aérien ou satellitaire
- ▒ éléments de texture of Haralick
- donnée multi-date (inter-annuel)

Les interactions

- relevés des contours de taches de renouées au GPS
- validation de chaque classification grâce aux relevés GPS
- comparaison entre les types de classification en % de précision
- P** problématique
- 1** autres questions

FIGURE 1: PROBLEMATIQUE GENERALE, DONNEES UTILISEES, CLASSIFICATIONS ET INTERACTIONS

1.3. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

1.3.1. LES CRITERES DE SELECTION DU SITE D'ETUDE

Dans le cadre du projet DYNARP-ITTECOP, neuf sites d'études ont été sélectionnés en France en prenant en compte les critères suivants:

- ✓ La présence d'au moins une infrastructure linéaire de transport (voie ferrée, voie navigable, autoroute) à moins de 300 mètres des taches de renouées asiatiques ;
- ✓ La présence d'au moins 10 taches de renouées asiatiques ;
- ✓ Le mixage de plusieurs infrastructures de transport sur une même zone ;
- ✓ L'accessibilité des taches de renouées asiatiques sur les sites d'étude.

Une sortie terrain a été organisée préalablement sur chacun des sites d'études, afin de mieux cerner les enjeux propres à chaque site.

Les critères de sélection - pour le site d'étude portant sur une analyse spatiale grâce à la télédétection - ayant été pris en compte sont les suivants:

- ✓ Les données aériennes et satellitaires déjà disponibles ;
- ✓ Les autres données aériennes et satellitaires pouvant être acquises ;
- ✓ L'absence de contraintes règlementaires ou logistiques pour effectuer un vol drone ;
- ✓ La présence suffisante de taches de renouées asiatiques (afin de créer une classification valide des renouées asiatiques, un nombre conséquent de zones d'entraînement et de validation sont indispensables).

1.3.2. LOCALISATION DU SITE

Le site finalement retenu est localisé à Serrières, en rive droite de Rhône (département de l'Ardèche). Des images Pléiades multi-dates de l'année 2013 étaient déjà disponibles sur ce site.

De plus, le vol de drone n'était possible que sur deux sites, Anse et Serrières, du fait de la législation aérienne. Or, aucune image satellite Pléiades n'est disponible pour la commune d'Anse. La législation française interdit (ou encadre strictement) les vols de drone près de zones à risque, telles que les aéroports, hôpitaux, etc. Ce vol permet la prise de photographies THRS qui sont utilisées dans la création d'un Modèle Numérique de Surface grâce aux techniques de photogrammétrie.

En raison de l'abondance et de la taille de l'information des images à THRS, l'image est découpée suivant les infrastructures linéaires de transport et de leur emprise. Les taches de renouées asiatiques sont généralement localisées à 100 mètres maximum des infrastructures de transport. Pour éviter les effets de bord et détecter d'éventuelles taches

de renouées éloignées de ces infrastructures, l'emprise considérée est de 300 mètres (Figure 2). Le logiciel ArcGIS est utilisé pour le découpage des images.

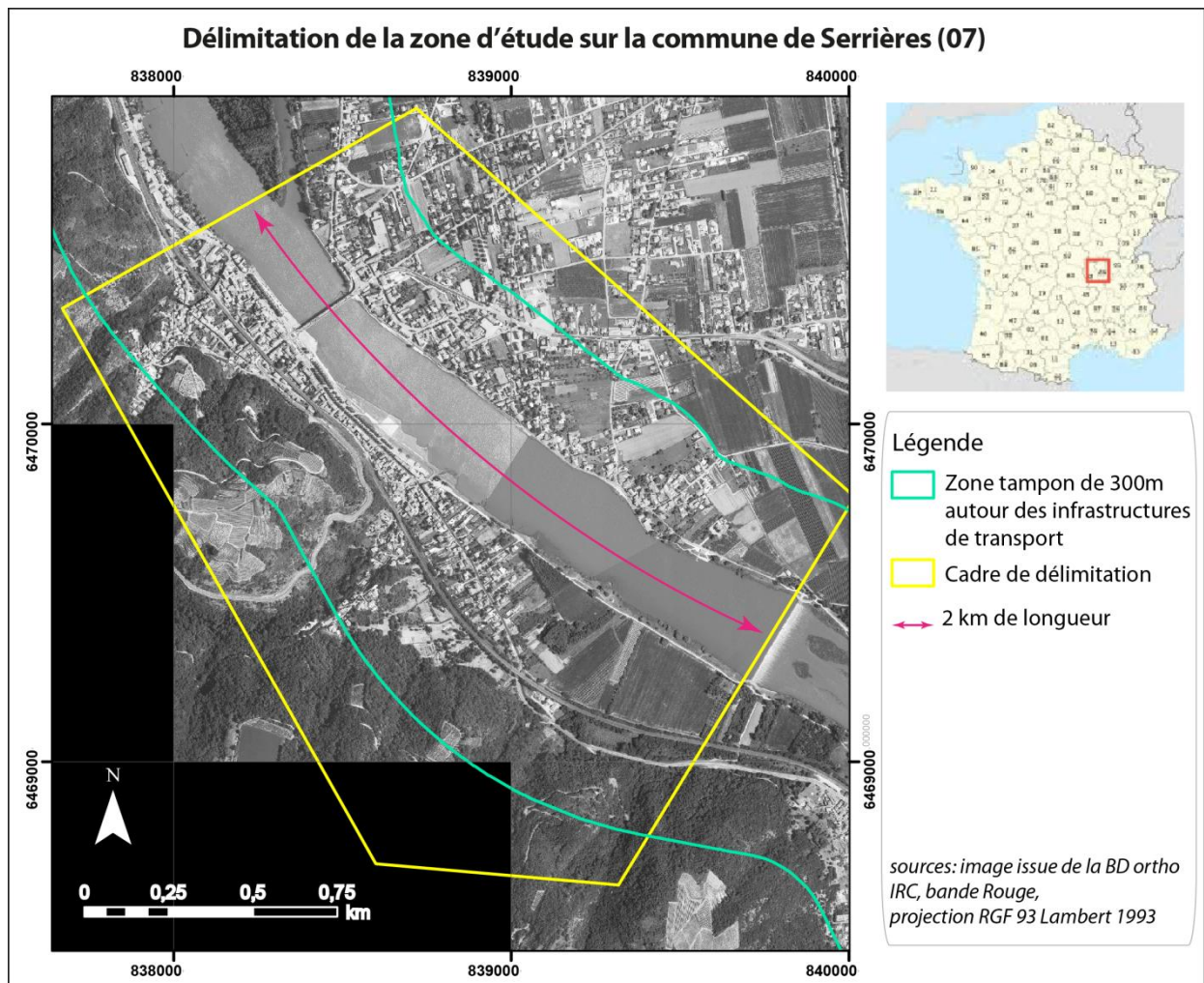


FIGURE 2: CARTE DE LOCALISATION ET DELIMITATION DU SITE D'ETUDE DE SERRIERES (07)

1.4. ETAT DES CONNAISSANCES : L'UTILISATION DES TECHNIQUES DE TELEDETECTION ET DE PHOTOGRAMMETRIE POUR LA DETECTION DES RENOUEES ASIATIQUES

1.4.1. LA RENOUEE ASIATIQUE, UNE PLANTE INVASIVE PREOCCUPANTE

Les renouées asiatiques regroupent la Renouée du Japon (*Fallopia Japonica*) (Figure 4), la Renouée de Sakhaline (*Fallopia Sachalinensis*) et leur hybride, la Renouée de Bohème (*Fallopia x Bohemica*). Originaires d'Asie orientale, elles ont été introduites en Europe puis en France au XIXe siècle, pour une raison ornementale (Child et Wade, 2000). Elles se développent préférentiellement lorsque les précipitations sont supérieures à 500mm par an, et la température reste modérée. Son habitat idéal correspond à une atmosphère humide, des sols acides, une situation ensoleillée ainsi qu'une bonne disponibilité en eau sans

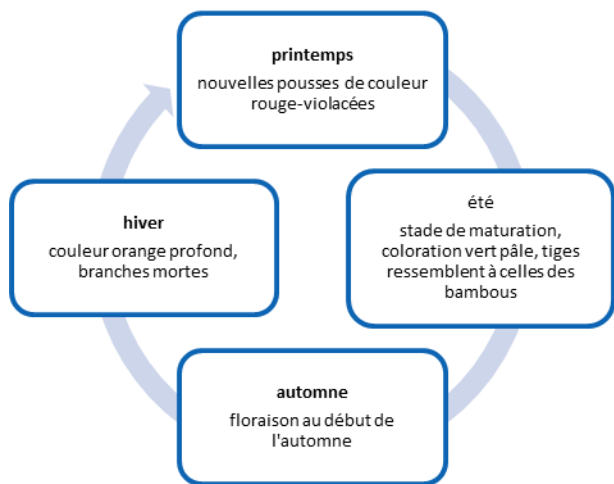


FIGURE 3: LE CYCLE DE VIE DES RENOUÉES ASIATIQUES ET LES CARACTÉRISTIQUES PHÉNOLOGIQUES (ADAPTE DE CHILD ET AL. (2000))

toutefois être immergé. Elles sont caractérisées par leurs pousses de couleur rouge-violacées au printemps et la couleur orange profond des branches mortes en hiver (Figure 3).

Les berges des cours d'eau sont, par exemple, des zones propices à l'expansion des renouées asiatiques (Berling et al., 1994). Cette plante invasive génère des problèmes de gestion sur le territoire, tels que la perte de la biodiversité locale, la gêne de la visibilité le long des infrastructures linéaires de transport, les inondations et la maintenance.

Les renouées asiatiques sont des concurrents végétaux coriaces (Figure 4). Ses feuillages denses limitent la pousse des autres plantes. Ses rhizomes leur permettent de coloniser rapidement un espace. L'accès aux chemins le long des voies navigables est également gêné par la densité des taches de renouées. En cas d'inondation, celles-ci peuvent gêner l'afflux et renforcer l'inondation. Les rhizomes peuvent abîmer les structures de protection. Enfin, les coûts de maintenance sont importants (Child et al., 2000).

Diverses méthodes de gestion existent :

- l'arrachage et la plantation d'arbres (Moret C., 2012) qui concurrencent les renouées asiatiques et l'affaiblissent ;

- le pâturage des renouées par des chèvres rustiques (Bozec M., 2012) qui participent à la diminution des

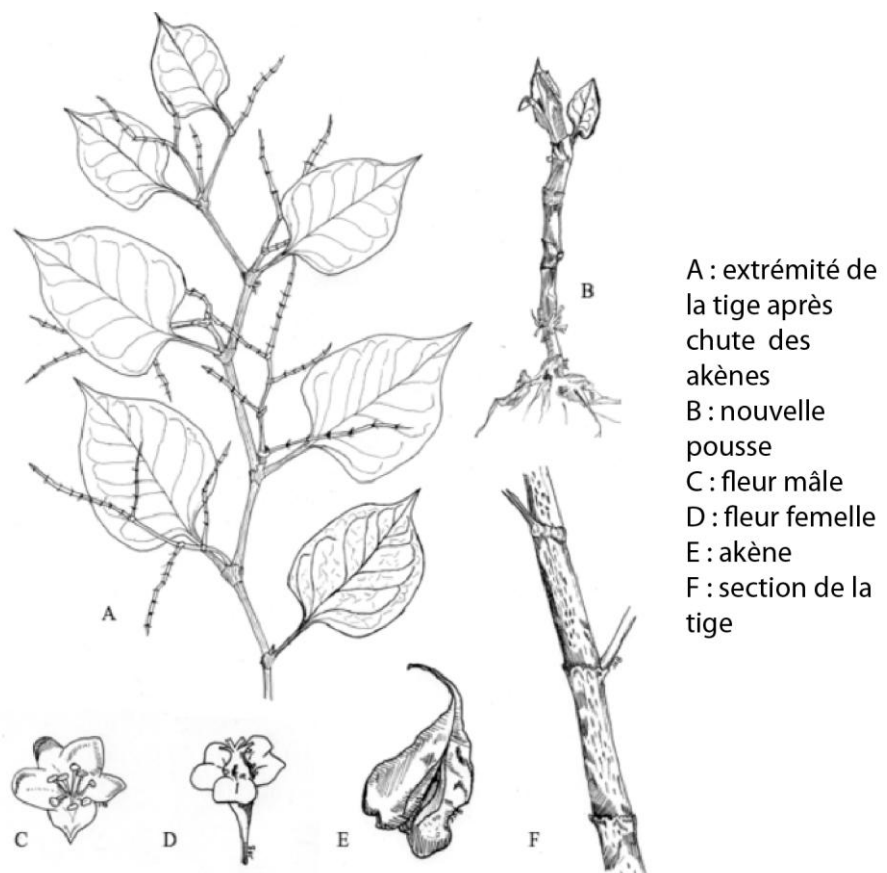


FIGURE 4 : DESSINS DE FALLOPIA JAPONICA (BARNEY ET AL., 2006)

rhizomes et plants de renouées ;

- l'éradication mécanique par godet cribleur concasseur (Boyer M., 2009) qui blesse et fragmente les rhizomes ;
- la lutte biologique (Gerber E., 2012) en introduisant un prédateur naturel qui favorise la concurrence entre la flore autochtone et la renouée.

Actuellement, les méthodes de lutte d'expansion de la renouée asiatique permettent seulement, au mieux, de stopper l'expansion de la renouée asiatique. Elles sont toutefois coûteuses et doivent être répétées pluri-annuellement et ce, tous les ans.

Les renouées asiatiques apparaissent souvent le long des linéaires de transport ou sur les zones de remblais. L'apport de terre lors des travaux est un vecteur de dissémination, favorisant l'implantation de la renouée sur un nouveau territoire, autour de ces axes de communication.

1.4.2. L'ANALYSE SPATIALE, COMBINANT TELEDETECTION ET PHOTOGRAMMETRIE

L'imagerie aérienne et satellitaire

La télédétection désigne la méthode d'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié (Lillensand et Kiefer, 1984). L'information acquise est sous forme d'une image satellite ou aérienne, dont la longueur du spectre magnétique représenté dépend de l'instrument de mesure utilisé (Figure 5).

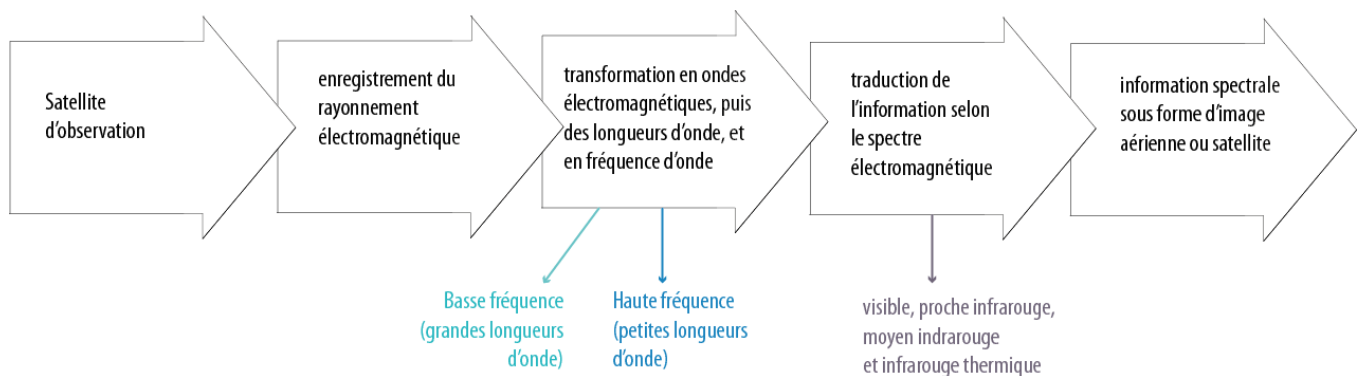


FIGURE 5: PRINCIPE DE TELEDETECTION (STROMBONI, 2015)

La télédétection apporte une analyse d'un territoire (petite échelle) à coût moindre. Elle optimise également le temps de travail passé par l'automatisation de la détection d'objets terrestres. La disponibilité d'images à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) (sub-décamétriques à sub-métriques accessibles dans le domaine civil) depuis 2002 ouvre un nouveau champ d'investigation pour la détection d'objets plus petits.

Ces techniques débutent au XXe siècle avec le lancement des premiers satellites d'observation de la Terre. Les satellites d'observation enregistrent le rayonnement

électromagnétique de l'objet étudié, puis l'information est extraite sous forme de fréquence d'ondes. Enfin, cette fréquence d'onde est traduite en information spectrale, grâce au spectre électromagnétique.

Les ondes électromagnétiques les plus souvent utilisées en télédétection vont du visible à l'infrarouge, correspondant respectivement de 0,4 μm à 0,7 μm et de 0,7 μm à 100 μm (Figure 6Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

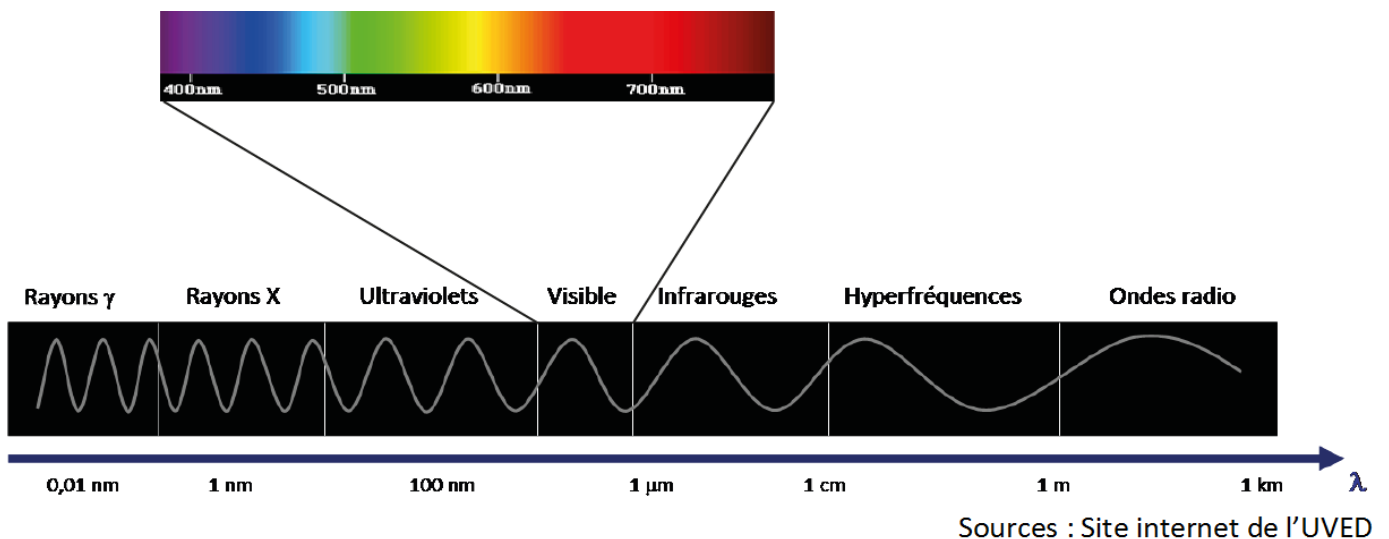


FIGURE 6: LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES FREQUEMMENT UTILISEES EN TELEDETECTION

Dans le cas de la végétation, les propriétés spectrales des couverts végétaux dépendent de la nature de la végétation qui les compose et de leur état physiologique, de leur teneur en eau. La bande infrarouge est primordiale car son rayonnement est fortement réfléchi (Figure 7) par la végétation (site internet de l'université de Paris 1).

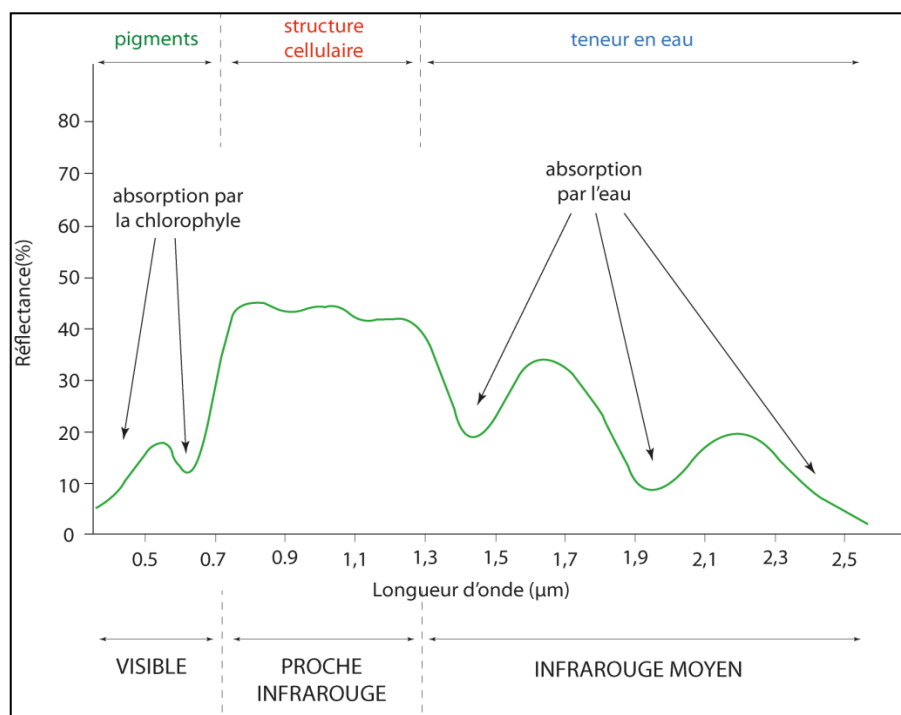


FIGURE 7: LES PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENÇANT LA SIGNATURE SPECTRALE DE LA VEGETATION DANS LE VISIBLE, LE PROCHE INFRAROUGE ET L'INFRAROUGE MOYEN (ADAPTE DE L'UVED)

Les données aériennes et satellitaires analysées

Les données satellites THRS disponibles les plus actuelles sont : Quickbird II, Landsat 8, Pléiades 2B, Spot 6-7 et Ikonos (Tableau 1). Leurs résolution spectrale, spatiale, radiométrique ainsi que leur fréquence d'acquisition et fauché diffèrent d'une image à une autre.

Satellite	Pays	Lancement	Bandes	Résolution (MS/PAN en m)	T (jours)	Fauchée (km)
Landsat 6-7	US – USGS	15/04/1999	7	30 / 15	16	170 x 185
Spot 5	FR/BEG/SWI	03/05/2002	RVB+PIR	10 / 2,5	26	60
Ikonos 2	US	24/09/1999	RVB+PIR	4 / 1	3	11,3
Quickbird	US	18/10/2001	RVB+PIR	2,44 / 0,61	3	16,8
Pléiades 1A/B	FR	2- 17/12/2012	RVB+PIR	2,8 / 0,7	2 à 3	20

TABEAU 1: LES IMAGES SATELLITES FREQUEMMENT UTILISEES EN TELEDETECTION

La résolution des images Pléiades (50 cm de résolution) semble optimale pour la détection des petites tâches de renouées. Les images aériennes issues de l'Institut National de l'information Géographique (IGN) appartiennent aux images THRS. De plus, leur prix d'acquisition est raisonnable, voire gratuit pour les plus anciennes (1928-2003).

Ces deux types d'images aériennes et satellitaires, issues des capteurs Pléiades (satellite) et IGN (aéroporté), sont les deux principales sources d'images utilisées pour la classification des taches de renouées asiatiques

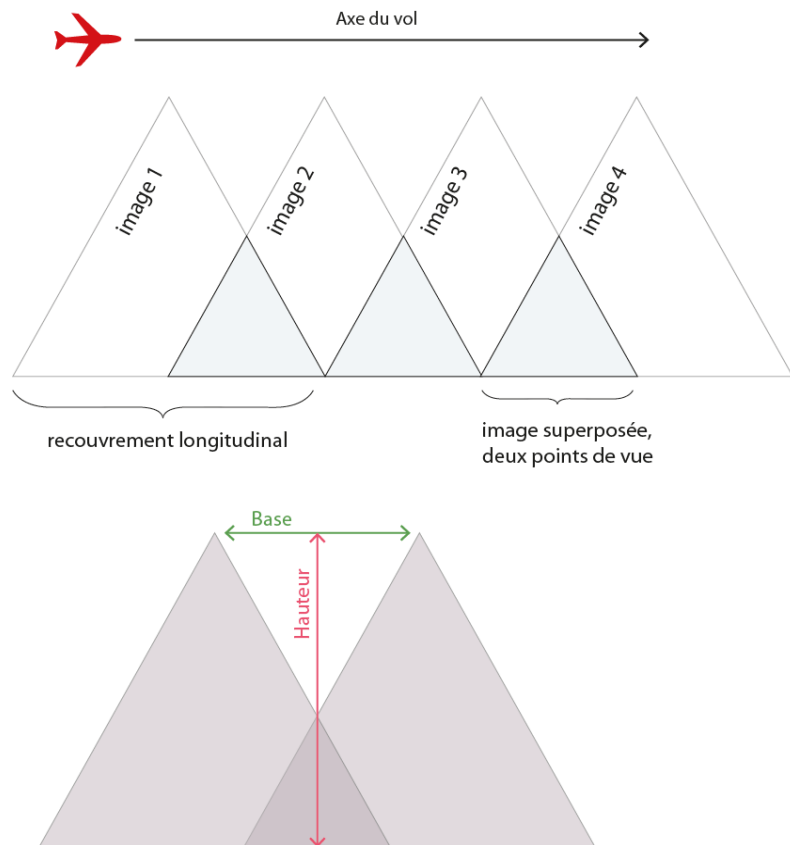
Notions de photogrammétrie

La photogrammétrie consiste à créer des mesures en 3 dimensions à partir d'images en 2 dimensions, planes. La construction de la 3e dimension s'effectue grâce à la superposition de deux photographies prises de deux points de vue différents. C'est le principe de la stéréoscopie. Les paramètres à respecter lors de la réalisation d'une prise de vue pour la photogrammétrie sont : l'écart entre les images formant un couple stéréoscopique, la parallélité des axes de prises de vue (site internet de l'ENSG, l'École Nationale des Sciences Géographiques).

Les MNS générés pour cette étude sont issus d'images photographiques (via le drone) et aériennes (images issues de l'Institut Géographique National).

Les photographies aériennes issues d'un drone

L'acquisition de photographies aériennes issues de drone est faite grâce à des véhicules aériens sans pilote contrôlé à distance capables de transporter une charge utile, tel qu'un appareil de photographie. Cette technique d'acquisition de photographies aériennes est la plus récente, et permet de créer des images orthophotographiques d'une résolution subdécimétrique (Figure 8).



Le ratio B/H correspond à la distance entre la base de la prise de vue de deux photographies divisé par la hauteur de prise de vue. Il détermine l'exagération

FIGURE 8: PRINCIPE DE LA PHOTOGRAMMETRIE

Le drone utilisé pour le site de Serrières est un quadricoptère DS-4 Discovery, équipé d'une caméra GoPro Hero4. Cette dernière est réglée afin de produire des images de 5 Mégapixels de résolution (Lachenal, 2015).

La législation française règlemente l'utilisation d'un drone : interdiction de voler au-dessus de 150 mètres du sol et au dessus de rassemblements de personnes et d'animaux, des zones proches des aéroports ainsi que des espaces aériens. Il est important de se tenir informé des zones de limitation de vol (AIP-drones.fr). L'usage aérien des appareils photographiques, cinématographiques, de télédétection et d'enregistrement de données de toute nature est règlementé par l'article l'article D133-10 du Code de l'aviation civile.

1.4.3. LA TELEDETECTION DES RENOUÉES ASIATIQUES

Les articles étudiant la dynamique des plantes invasives par télédétection THRS se sont multipliés depuis une dizaine d'année (Tsai et al., 2006, Murray et al., 2010, Jones et al., 2011). Peu d'articles s'intéressent spécifiquement à la classification des renouées asiatiques par télédétection. La réponse spectrale diffère évidemment d'une plante invasive à une

autre. Néanmoins, ces recherches antérieures peuvent se révéler utiles dans la construction d'une méthodologie de télédétection propre aux renouées asiatiques.

La classification des plantes invasives via des images à haute résolution (HRS) donne de meilleurs résultats que la classification avec des images à résolution spatiale moyenne (Shouse et al., 2013). L'étude de Shouse traite de l'identification par classification orientée-objet du chèvrefeuille de Maack, plante invasive exotique au sein d'un territoire d'étude résidentiel avec des autoroutes, des ponts et des voies ferrées. Des images à moyenne résolution spatiale et à haute résolution sont comparées (Landsat 5 (pixels de 30m) et orthophotos (pixels de 0,30m)). Les effets d'échelle sur la précision de la classification sont démontrés puisque lorsque la taille du pixel augmente, le nombre de pixels identifiant les plantes invasives diminue. La moyenne résolution spatiale n'est pas adaptée pour la classification des plantes invasives. Pour Müllerova (2013), qui cherche à étudier de manière diachronique à long terme l'expansion de la Berce du Caucase, l'utilisation de photographies aériennes HRS prises pendant la période de floraison est nécessaire. Lorsque la résolution spectrale est faible, l'analyse orientée-objet est plus appropriée, en utilisant les variables texture, taille, forme, contigüité, distance entre les objets.

Dans un premier essai de classification des renouées asiatiques, utilisant des orthophotos d'une résolution de 0,50m, Dorigo et al. (2012) ont obtenu des résultats peu satisfaisants, avec une précision de la classification de 61.4%. L'introduction de la dimension temporelle dans l'analyse en comparant des images hivernale et estivale grâce à l'indice BTBR (ratio de bande bi-temporel) (Figure 9) est plus performante pour détecter les petites tâches de renouées, mais l'information spectrale devient plus hétérogène lorsque la résolution est plus fine. L'ajout d'autres variables spatiales et spectrales, les indices de texture d'Haralick (les variations de gris dans un polygone) et les indices spectraux comme le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sensible à la biomasse aérienne chlorophyllienne, est une piste d'amélioration de la classification.

$$\text{BTBR} : \frac{\left(\frac{R_{off}}{R_{on}}\right) - \left(\frac{G_{off}}{G_{on}}\right)}{\left(\frac{R_{off}}{R_{on}}\right) + \left(\frac{G_{off}}{G_{on}}\right)}$$

Avec:
R = Red band,
G = Green band,
off = image satellite en leaf-off (hiver),
on = image satellite en leaf-on (été).

FIGURE 9: L'INDICE BTBR

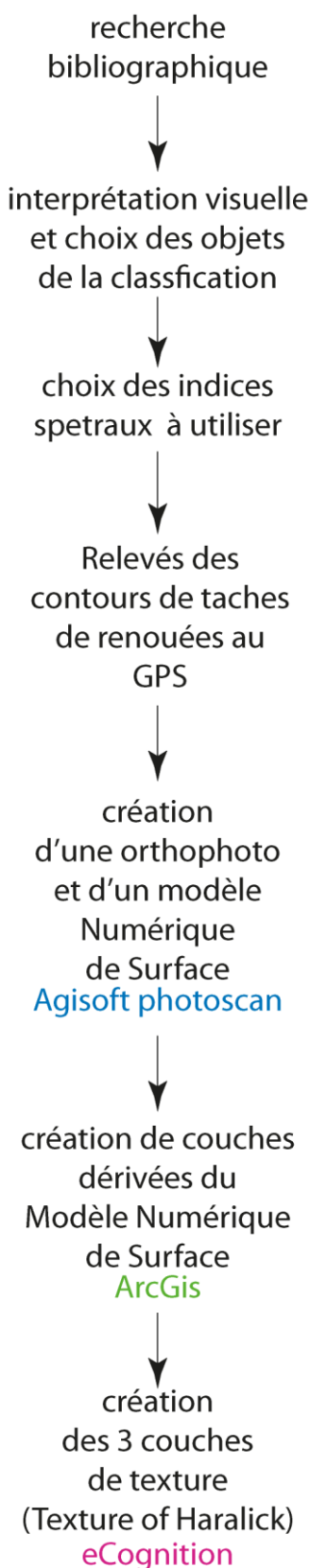


FIGURE 10: METHODOLOGIE DU TRAVAIL PREPARATOIRE

2. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

2.1. TRAVAIL PREPARATOIRE

Sur la base de la bibliographie, nous avons établi un cadre de travail contrôlé, permettant de gagner du temps lors des traitements de télédétection (Figure 10).

2.1.1. INTERPRETATION VISUELLE ET SELECTION DES OBJETS DE LA CLASSIFICATION

L'objectif de la classification est de détecter les renouées asiatiques, mais également les éléments paysagers qui l'entourent. Huit classes finales (figure 11) sont retenues, permettant de représenter les caractéristiques principales d'un paysage anthropisé : le type de sol, la densité de végétation, la surface en eau, les ombres, et enfin la renouée asiatique.

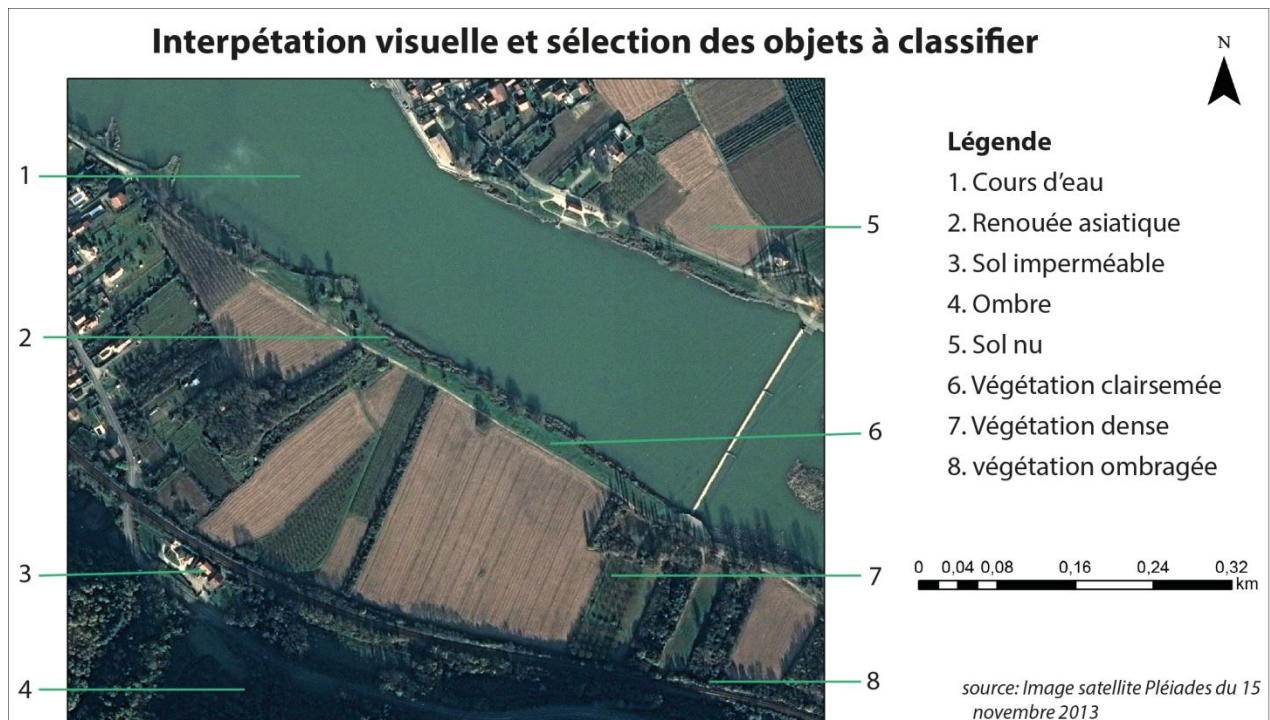


FIGURE 11: LES OBJETS FINAUX RETENUS POUR LA CLASSIFICATION

2.1.2. SELECTION DES INDICES SPECTRAUX

Il existe une multitude d'indices spectraux en télédétection, basés sur des opérations arithmétiques entre plusieurs bandes spectrales. Ils sont utilisés pour mettre en évidence des réflectances particulières, comme la teneur en eau (NDWIF1), les surfaces minéralisées (Indice de Brillance), ou encore le stade de croissance végétale à un moment donné (NDVI). Dans cette étude, 6 indices spectraux différents sont utilisés (Tableau 2).

Indice	Utilisation	Calcul	Référence
NDVI	Indice de végétation normalisé (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{PIR - R}{PIR + R}$	Rouse et al., 1974 ; Tucker, 1979
BTBR	Ratio de bande bi-temporel (Bi-Temporal Band Ratio)	$\frac{\left(\frac{R_{off}}{R_{on}}\right) - \left(\frac{G_{off}}{G_{on}}\right)}{\left(\frac{R_{off}}{R_{on}}\right) + \left(\frac{G_{off}}{G_{on}}\right)}$	Dorigo et al., 2012
NDWIF1	Détection des zones en eau	$\frac{V - PIR}{V + PIR}$	McFeeters, 1996
IB1	Détection des surfaces minéralisées	$\sqrt{\frac{(PIR^2 + R^2 + V^2)}{3}}$	
IB2	Détection des surfaces minéralisées	$\sqrt{R^2 + PIR^2}$	
Indice de clarté		$\frac{R - V}{R + V}$	

TABEAU 2: INDICES SPECTRAUX UTILISES

Plus une image satellite contient de bandes spectrales, plus grand est le nombre d'indices disponibles. Dans le cas de cette analyse, la bande Infrarouge est indispensable car elle permet de repérer la végétation, les pigments chlorophylliens absorbant la majeure partie du rayonnement visible qui leur parvient et n'absorbant pas du tout le rayonnement infrarouge (site internet de l'université Paris-1).

2.1.3. RELEVES DES CONTOURS DE TACHES DE RENOUÉES ASIATIQUES AU GPS

Les contours des taches de renouées asiatiques présentes sur le site de Serrières, le long du cours d'eau ont été relevés grâce à un récepteur GPS Trimble. La précision planimétrique après post-traitement de ces données géolocalisées est élevée, comprise entre 0 et 20 cm pour la majorité des taches (Tableau 3).

Précision de positionnement XY(m)	Nb de taches	PDOD moyen
0-0,20	14	4,02
0,20-0,50	6	5,57
0,50-2	5	2.6

TABLEAU 3: PRECISION SPATIALE DES CONTOURS DE TACHES RELEVES AU GPS A SERRIERES (07)

Ces informations permettent, d'une part, de localiser et d'identifier les taches servant à l'élaboration des classifications des images et, d'autre part, de fournir des données de « vérité terrain », servant de validation de ces classifications. Ces deux types de données sont appelés, respectivement, données d'entraînement et données de validation.

2.1.4. CREATION D'UNE ORTHOPHOTO ET D'UN MODELE NUMERIQUE DE SURFACE PAR PHOTOGRAMMETRIE

Afin de créer des orthophotos et des MNS (Figure 13), à partir d'images aériennes, nous avons utilisé le logiciel de photogrammétrie Agisoft Photoscan (Figure 12).

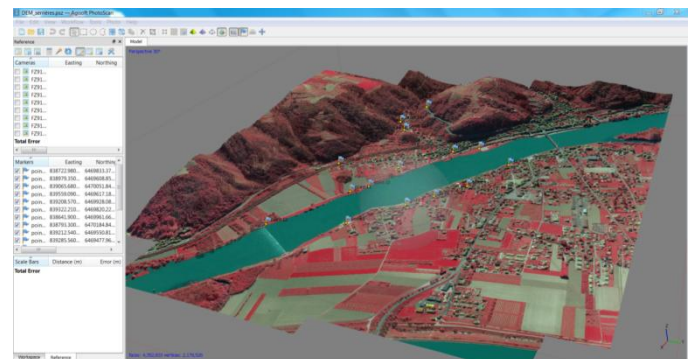


FIGURE 12: CAPTURE D'ECRAN DU LOGICIEL AGISOFT PHOTOSCAN

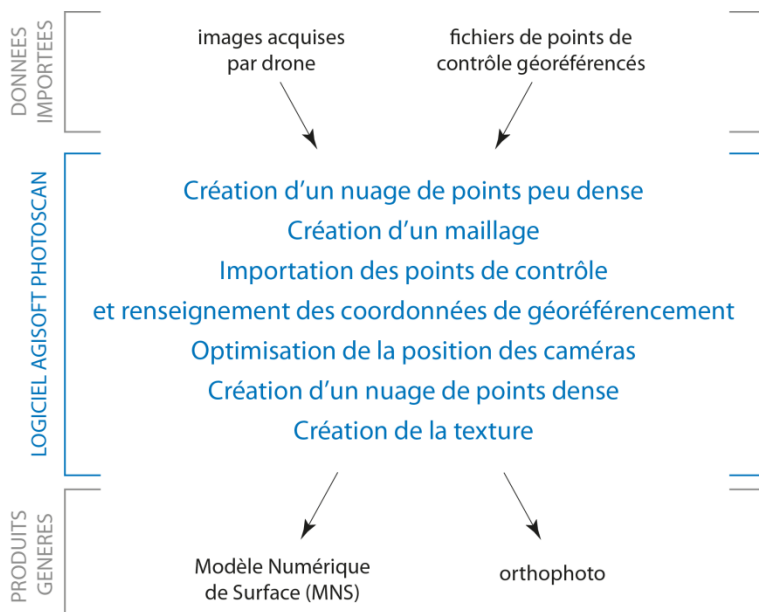


FIGURE 13: METHODOLOGIE DE LA CREATION D'ORTHOPHOTOS ET DE MNS AVEC AGISOFT PHOTOSCAN

La résolution spatiale finale de l'orthophoto créée dépend de la qualité des photographies et du nombre de recouvrement de la zone étudiée. Dans le cadre de cette étude, deux types d'images stéréoscopiques sont utilisées :

les images brutes IRC de l'IGN (volume 2013) et les photographies issues du drone (2015). La différence de résolution (en mètres/pixel) est significative : celle des images prises par le drone est 12 fois plus précise que celle issue des images ortho IRC (Tableau 4: caractéristiques des modèles numériques de surface générés). Cela est dû au nombre d'images disponibles, au nombre de recouvrement de la zone, et surtout à la résolution initiale des images brutes (altitude vol, focale).

		Nb d'images	Nb de GCP	de zone (km ²)	Erreur (mètres)	Erreur (pixel)	Résolution (m/pixel)
Ortho 2013	IRC	9	5,33	2,67	1,45	0,72	0,51
Drone 07/15		1115	51	0,11	1,69	0,94	0,088

TABLEAU 4: CARACTERISTIQUES DES MODELES NUMERIQUES DE SURFACE GENERES

Les modèles numériques de surface et ortho-photographies générés sont comparés aux données relevées simultanément par GPS (cibles).

Les erreurs de précision XY et Z sont calculées grâce à l'EQM (Erreur Quadratique Moyenne) :

$$EQM = \sqrt{\left[\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n} \right]}$$

Avec :

e_i = erreur vraie (différence entre la mesure et sa vraie valeur)

n = nombre de mesures

Le tableau suivant (Tableau 3) montre les erreurs quadratiques moyennes des deux orthophotos réalisées :

	Nb de points de contrôle XY	EQM X	EQM Y	Nb de points de contrôle Z	EQM Z
Ortho IRC 2013	29	0,83	0,41	52	3,69
Drone 07/15	44	0.502	0.502	50	2.81

TABLEAU 5: LES ERREURS QUADRATIQUES MOYENNES DES ORTHOPHOTOS ET MNS GENERES

Comme le démontre la carte suivante (Figure 14) les EQM les plus élevées de l'altitude se concentrent au centre du MNS, où elles sont supérieures à 5. Comme nous le verrons lors des résultats de la classification issue des images drone, la qualité de la classification est calculée pour l'ensemble de la zone, puis seulement sur la zone centrale de la classification, où les EQM restent inférieures à 50 cm.

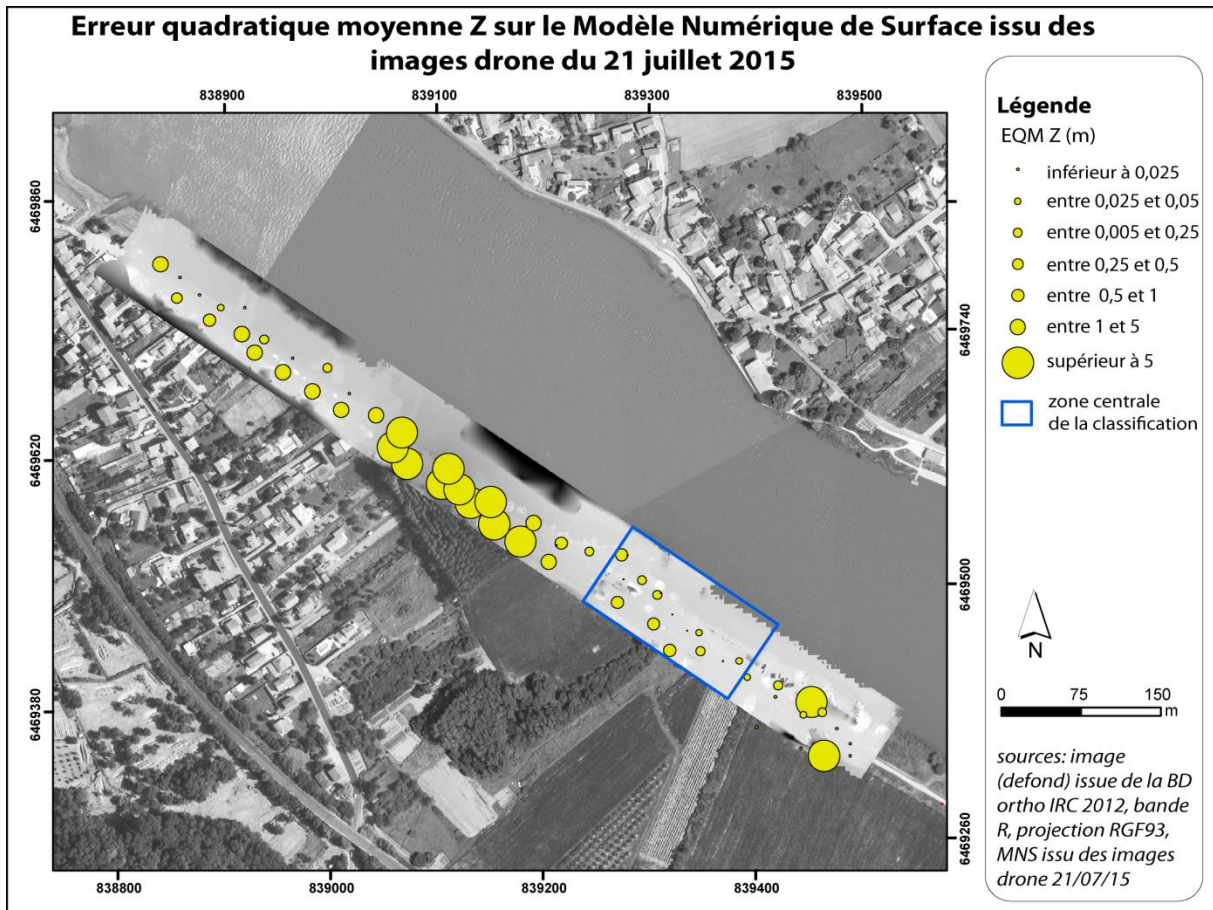


FIGURE 14: CARTE DES ERREURS QUADRATIQUES MOYENNES Z DU MNS ISSU DES IMAGES DRONE

2.1.5. CREATION DE COUCHES DERIVEES DU MODELE NUMERIQUE DE SURFACE

Afin d'enrichir les possibilités de classification, différentes couches thématiques sont ajoutées, telles que les couches dérivées du Modèle Numérique de Surface. Les couches dérivées sont : la courbure, la pente et l'ombrage (figure 15).

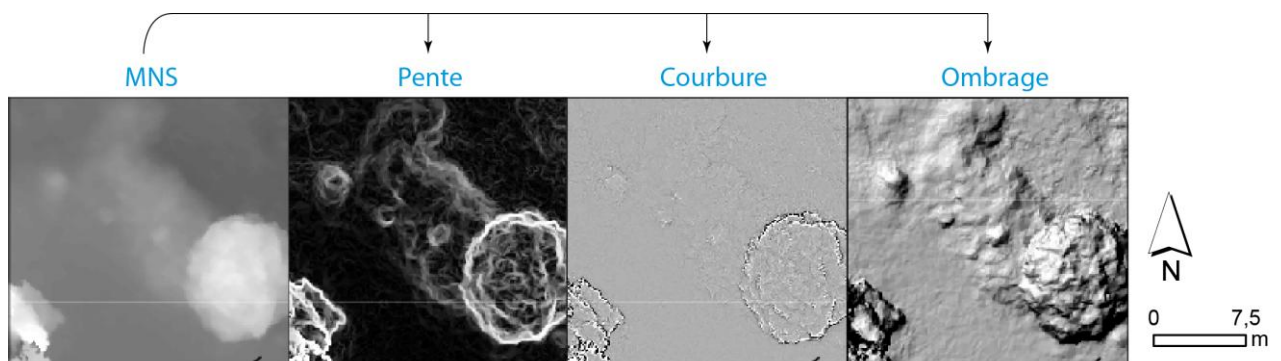


FIGURE 15: COUCHES DERIVEES DU MNS ISSU DES IMAGES DRONE

2.1.4. SELECTION DE LA TAILLE DU KERNEL POUR LA CREATION DE COUCHES DE TEXTURE

En fonction de la taille des objets à détecter (taches de renouées asiatiques) et de la résolution spatiale de l'ortho-image, nous adaptons la taille de kernel. Le Kernel correspond

au noyau de convolution (ou filtre glissant), il est la matrice contenant le jeu de coefficients pondérateurs utilisés dans le calcul des indices d'Haralick. Les filtres utilisés peuvent aller de 3x3 à 43x43 (site internet de l'université de Montpellier-3). La taille du kernel est trop petite lorsqu'elle ne peut pas contenir suffisamment d'information pour caractériser la texture de l'objet à classifier (kernel's texture).

Le choix de la taille idéale du Kernel est indispensable pour la création de couches temporaires de textures d'Haralick utiles à la détection des renouées asiatiques. Selon Dorigo et al. (2012), la taille de kernel jugée idéale pour une image de 50 cm de résolution spatiale est de 43x43 pixels pour discriminer la *Fallopia Japonica* du reste des objets au sol.

Murray et al. (2010) ont choisi une taille de kernel de 7x7 pixels pour détecter des patches de 30 x 30m, sur des images Ikonos (résolution spatiale de 4m).

Puissant et al. (2005) utilisent également la taille de kernel 7x7 pour une classification THRS en milieu urbain (images Ikonos et Orbview d'une résolution de 4-5m).

2.1.6. CREATION DES 3 COUCHES DE TEXTURE

Les indices de textures d'Haralick utilisent les « Gray Level Co-occurrence Matrix » (GLCM) (Haralick, 1979) pour calculer le nombre de combinaisons de gris qui occurrent dans une zone. Huit textures issues des GLCM sont réparties en trois catégories : Contrast, Orderliness et Statistical (Tableau 6).

Catégorie	Indice de texture	Signification	Echelle
Contrast	Contrast	Contraste, opposition à l'homogeneity, mesure des différences de variation entre i et j	[0 ; 65025]
	Dissimilarity	Dissimilarité, équivalent à contrast de façon linéaire	[0 ; 255]
Orderliness	Homogeneity	Uniformité	[0 ; 1]
	Angular moment	2 nd	[0 ; 1]
Statistical	Entropy	Entropie, mesure de la répartition	[0 ; 10404]
	Mean	Moyenne, fréquence de l'occurrence	[0 ; 255]
	Standard deviation	Variance de l'objet et de son voisinage	[0 ; 255]
	Correlation	Correlation	

TABLEAU 6: CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS DE TEXTURE D'HARALICK (MANUEL DEFINIENS)

Il est démontré que l'ajout d'éléments de texture, notamment les 8 textures of Haralick, augmente sensiblement la précision de la classification des renouées asiatiques (Murrey, 2010). Cependant, ces éléments génèrent des couches d'informations lourdes, ce

qui allonge considérablement le temps de calcul lors de l'utilisation d'un logiciel de télédétection. Il est possible de comparer les 8 éléments de texture afin de ne garder que les 3 couches donnant le plus d'information, une dans chaque catégorie (contrast, statistical et orderliness). Cela permet d'éviter la redondance d'information spectrale. Pour cela, l'Analyse en Composante Principale (ACP) est l'outil statistique approprié (Rachex, 2014). Au préalable, le choix de la taille de kernel utilisé la plus approprié doit être effectué (Ruiz et al. 2004) tout en prenant en compte les effets de bords (Franklin et al., 2000). Ces derniers se rapprochant le plus à la réponse spectrale des plantes invasives. Ensuite, la texture est analysée avec la bande infrarouge, car l'information qui nous intéresse est la végétation. Dorigo (2012), préconise l'utilisation des éléments de texture suivants : « entropy », « mean », « contrast » et « homogeneity ». Les huit textures of Haralick ont chacune leur propre signification, caractéristique et échelle (Figure 17: les 3 elements de texture d'Haralick utilisés,5 (Figure 17).

Selon Dorigo et al (2012), les indices de textures les plus significatifs pour la détection des renouées sont entropy, mean, contrast et homogeneity. Dans cette étude, seuls trois indices de textures sont utilisés, dont un dans chaque catégorie : « contrast », « entropy » et « mean ».

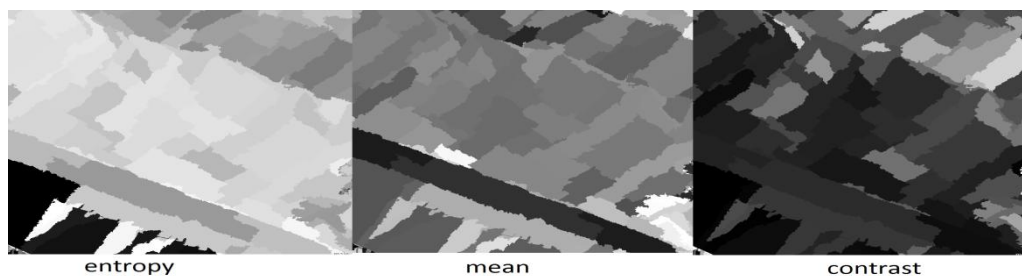


FIGURE 17: LES 3 ELEMENTS DE TEXTURE D'HARALICK UTILISES

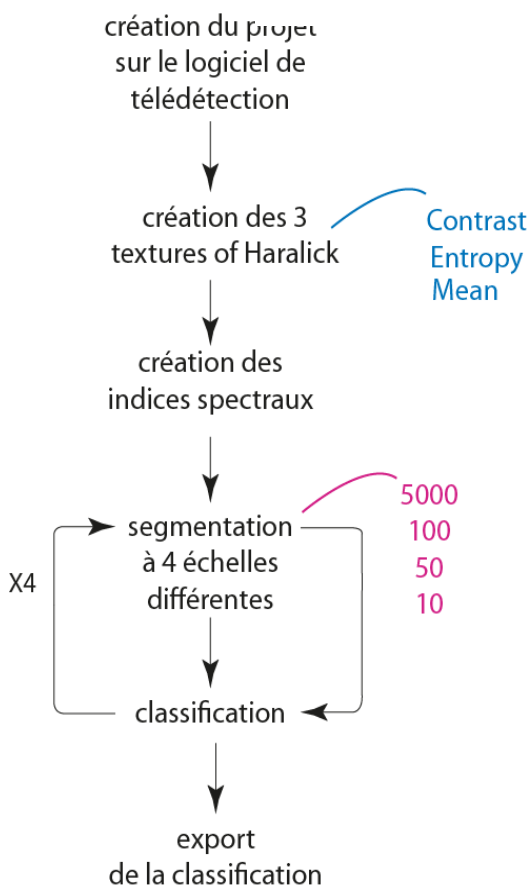


FIGURE 16: METHODOLOGIE DE LA CLASSIFICATION

2.2. LA CLASSIFICATION ORIENTEE-OBJET DES RENOUEES ASIATIQUES

Une fois le travail préparatoire effectué, la classification orientée-objet sur le logiciel de télédétection eCognition commence (Figure 16).

2.2.1. IMPORT DES IMAGES, CREATION DES NEO-CANAU ET DES INDICES SPECTRAUX

Un nouveau projet est créé sur le logiciel, où l'on importe les différentes images et l'on renseigne les bandes spectrales associées. C'est également durant cette étape que les couches thématiques supplémentaires sont ajoutées, telles que les couches dérivées du MNS.

Ensuite, les trois couches de textures sont créées - Contrast, Entropy et Mean - en s'appuyant sur la couche de kernel générée précédemment. Les indices spectraux

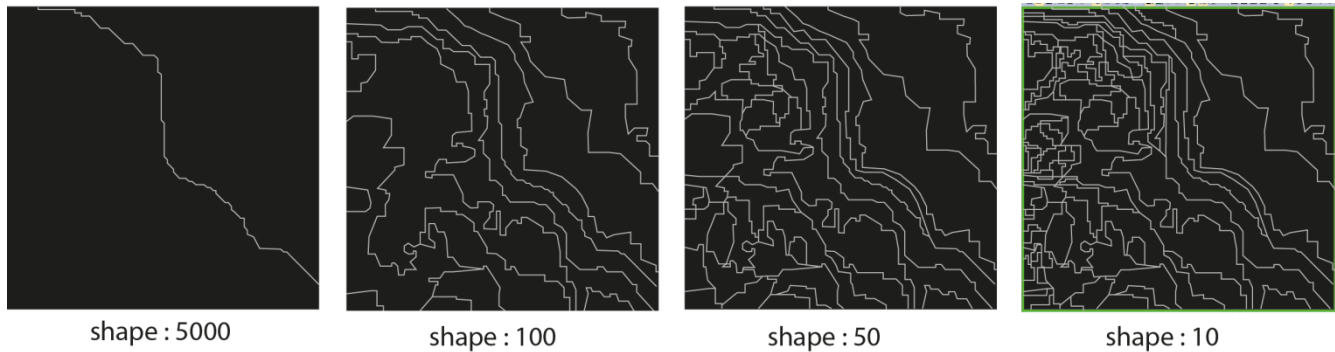


FIGURE 18: LES 4 NIVEAUX DE SEGMENTATION UTILISES

sélectionnés pour cette classification sont créés à leur tour.

2.2.2. SEGMENTATION A QUATRE ECHELLES DIFFERENTES

La segmentation consiste au découpage d'une image en fonction des bandes spectrales sélectionnées, dans l'objectif de créer des groupes de pixels (objets) dont les caractéristiques spectrales sont les plus homogènes possibles.

Dans le cas de la classification des rivières asiatiques, quatre niveaux de segmentation sont créés, à échelle (scale) de 5000, 100, 50 et 10 (Figure 18). Plus l'échelle choisie est petite, plus les objets créés sont petits. Cela signifie que les objets ayant le moins de caractéristiques spectrales en commun avec les autres objets et dont les caractéristiques sont homogènes au sein de cette même classe sont ceux qui peuvent être classifiés le plus facilement, et à une échelle de segmentation élevée.

Par exemple, l'élément « eau » se distingue très facilement grâce à l'indice NDWIF1, ce dernier mettant en évidence les zones en eau. L'indice de végétation NDVI fait ressortir les zones de végétation (Figure 19).

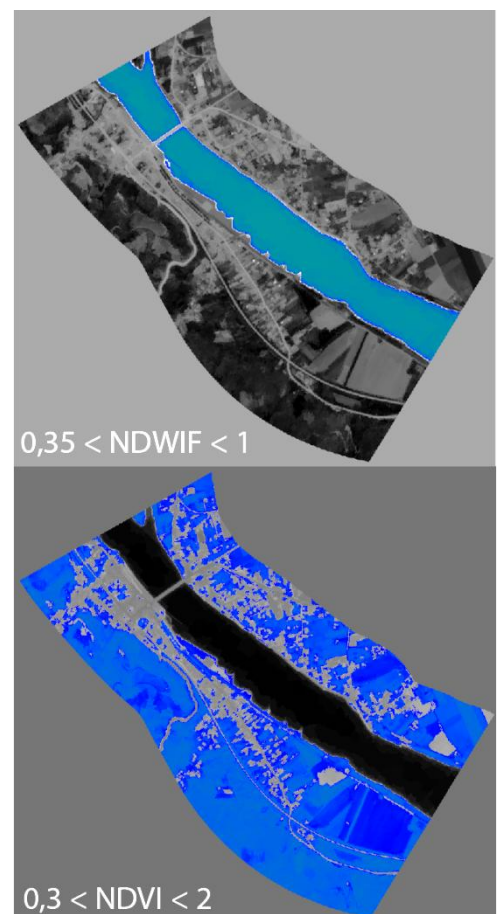


FIGURE 19: EXEMPLE D'UTILISATION DES INDICES SPECTRAUX NDVI ET NDWIF1

2.2.3. CLASSIFICATION ORIENTEE-OBJET

L'approche orientée-objet paraît plus appropriée et la plus précise pour une étude à très haute résolution, comparée à l'approche orientée-pixel.

En premier lieu, la classification permet de séparer les zones de « masque » du reste de l'image satellite. Ce masque correspond à la zone en dehors du site d'étude délimité lors du travail préparatoire, c'est-à-dire au-delà de 300 mètres des infrastructures de transport. Une image raster est toujours représentée sous forme de dalle, dont les côtés sont égaux. Les caractéristiques spectrales des segments appartenant au « masque » sont égales à 0, il est donc facile de les séparer.

La Figure 20 représente la hiérarchie des objets classifiés, les différents niveaux de segmentation et les seuils utilisés lors de la classification issue de la BD ortho IRC.

Ce schéma illustre la méthodologie de classification issue des images prises par drone. L'image a été segmentée à échelle de 100, ce qui permet de créer des polygones de taille

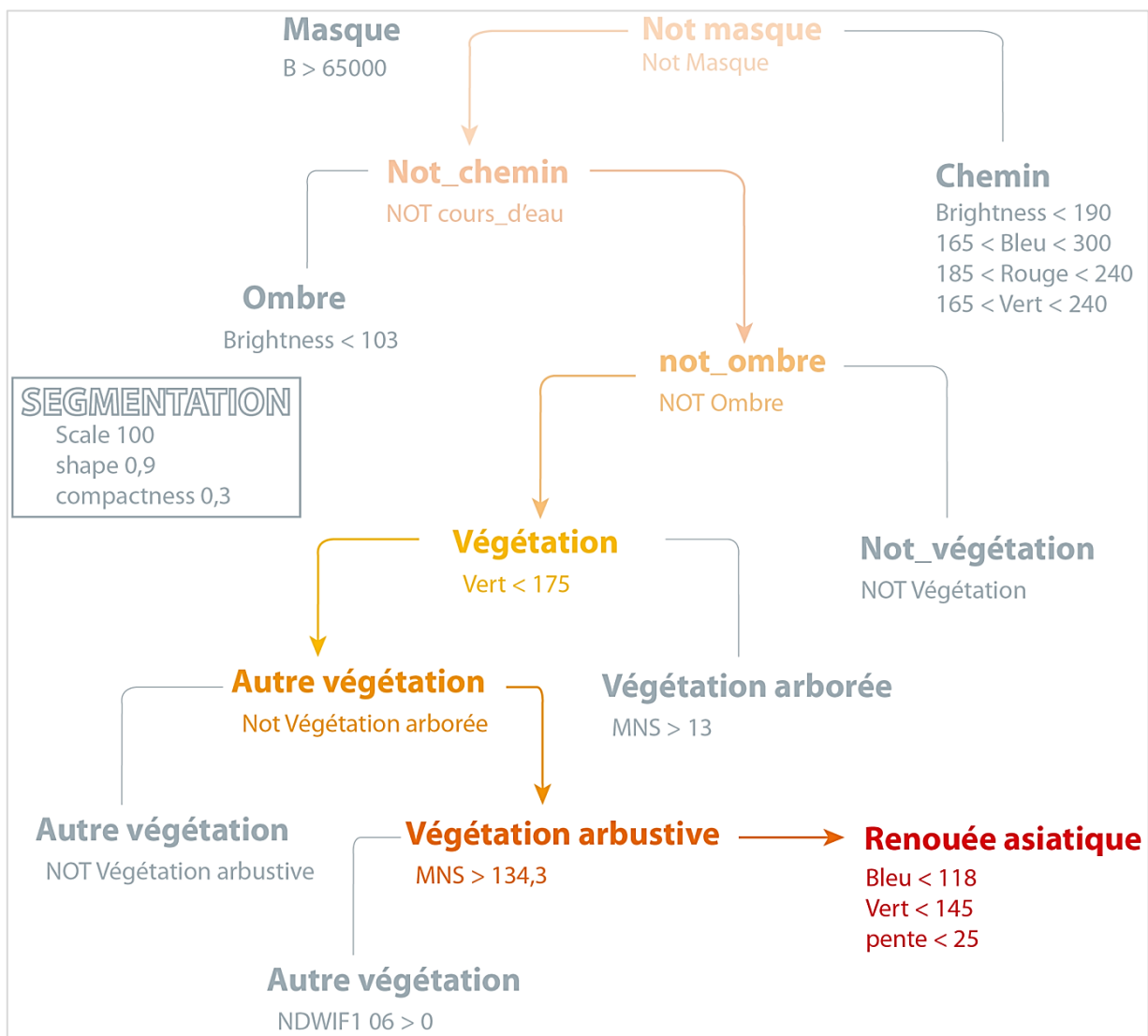


FIGURE 20: METHODOLOGIE DE LA CLASSIFICATION ORIENTEE-OBJETS DES IMAGES ISSUES DU DRONE

sélection de la zone de contrôle en fonction des données GPS (contours des taches de renouées)

ArcGis

Jointure spatiale des noms de classes issus de la classification

ArcGis

Jointure spatiale de la présence/ absence de taches de renouées (données de validation)

ArcGis

Export du fichier tableur

construction de la

Construction de

FIGURE 21: METHODOLOGIE DE LA VALIDATION

2.3 VALIDATION DE LA CLASSIFICATION

Lorsque la classification est terminée, une validation de celle-ci est nécessaire (Figure 21).

2.3.1. CREATION D'UNE COUCHE DE POINTS DE CONTROLE

Ces points réguliers sont espacés de 5 mètres sur la zone de validation, c'est-à-dire situés sur la zone où des relevés GPS des contours des taches de renouées ont été effectués (Figure 22). Ils sont au nombre de 4063.

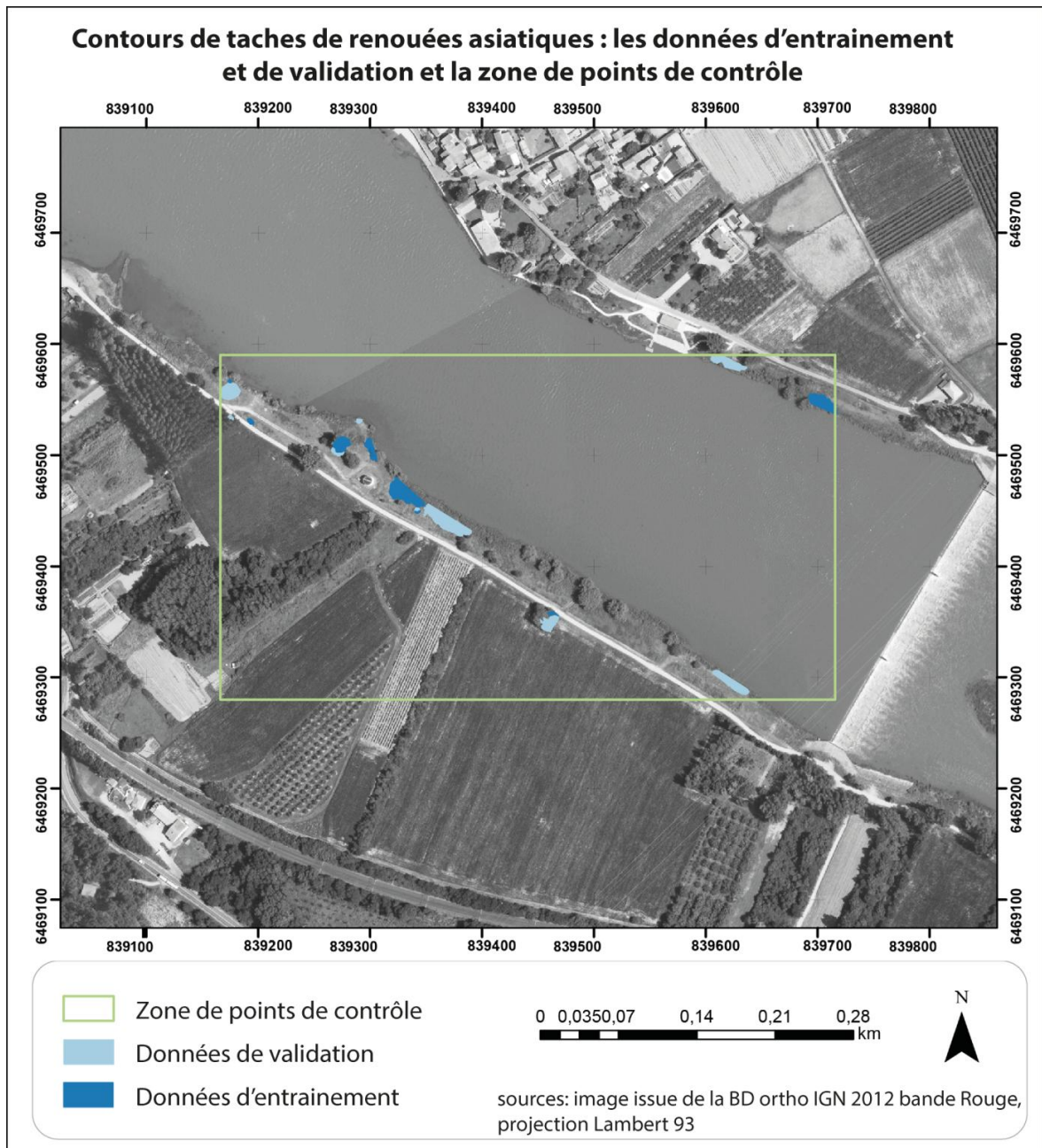


FIGURE 22: DONNEES D'ENTRAINEMENT, DE VALIDATION ET CADRE DE LA ZONE DE CONTROLE

Ensuite, grâce à la jointure spatiale (ArcGis), chaque point de contrôle se voit affecter le nom de la classe issue de la classification (via eCognition) et la présence ou l'absence de renouée asiatique, donnée issue des données de validation.

2.3.2. CONCEPTION DE LA MATRICE DE CONFUSION ET DE L'INDICE DE KAPPA

Afin de valider la méthode de classification orientée-objets, la matrice de confusion est utilisée. Elle permet d'affirmer ou d'infirmer si les données d'entraînement ont permis de classer correctement les objets « renouées asiatiques ».

La matrice permet de calculer les erreurs de commission et d'omission. **Les erreurs de commission** sont les polygones qui s'ajoutent dans une classe après la procédure de classification, c'est-à-dire que ces polygones appartiennent en réalité à une autre classe. **Les erreurs d'omission** sont les polygones qui ont quitté leur classe après la procédure de classification, c'est-à-dire que ces polygones appartiennent en réalité à la classe.

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	17	67	84	20,24	79,76
	not renouée	41	3938	3979	98,97	1,03
		58	4005	4063		
	précision utilisateur (%)	29,31	98,33			erreurs d'omission
polygones classés correctement	erreur de commission (%)	70,69	1,67	erreurs de commission		

TABLEAU 7: LECTURE D'UNE MATRICE DE CONFUSION

L'indice de kappa est calculé en fonction de la matrice de confusion précédemment construite. C'est un indice statistique estimateur de qualité variant entre 0 et 1. Il est utilisé pour l'évaluation du degré de concordance entre deux « données juge », la donnée estimée et la donnée réelle (ou observée). Cet indice s'interprète comme la proportion d'accord (ou de jugements concordants), c'est-à-dire la proportion d'éléments classés de la même manière par les deux juges (site internet de l'IRD).

$$\text{Kappa} = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)}$$

Les données réelles utilisées correspondent aux contours de taches de renouées asiatiques classés comme « données de validation ». Il est nécessaire de ne pas réutiliser les données ayant servi à l'élaboration de la classification pour éviter de biaiser les résultats.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS DES DIFFERENTES CLASSIFICATIONS

3.1.1. BD ORTHO IRC (2012)

La classification créée à l'aide de la BD ortho IRC (annexe 2) permet d'utiliser différents indices, dont l'indice de végétation NDVI, construit grâce aux bandes Rouge et Infrarouge. Nous avons évalué la qualité de cette classification (site de l'université de Paris-8) présenté dans le tableau 8.

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	3	81	84	3,57	96,43
	not renouée	81	6821	6902	98,83	1,17
		84	6902	6986		
précision utilisateur (%)		3,57	98,83			
erreur de commission (%)		96,43	1,17			

Somme Commission	41	67	
Somme omission	67	41	
Produit par ligne (Omission Commission)	2747	2747	5494
			Somme
Kappa	0,9734		

TABLEAU 8: MATRICE DE CONFUSION ET INDICE DE KAPPA DE LA CLASSIFICATION ISSUE DE LA BD ORTHO IRC

Les erreurs de commission, correspondant en réalité à une autre classe, s'élèvent à 96,43% pour la classe « Renouée ». Les erreurs d'omission, correspondant dans la réalité à la renouée qui ont été classé dans « not renouée », s'élèvent à 96,43%.

L'indice de Kappa s'élève à 0,98. Cependant, nous remarquons que cet indice n'est pas représentatif de la précision de la classification. Cela est expliqué par le fait que la classe « not renouée » contient 6902 polygones, soit 98,80% de l'ensemble des polygones de la classification totale. Le poids de cette classe est trop important et biaise le résultat.

Il s'avère que l'indice de précision utilisateur (100 – erreur de commission) est un meilleur indice de précision que le Kappa. Il sera donc utilisé pour l'ensemble des résultats des classifications. La précision de la classification issue de la BD ortho est de 3,57%.

3.1.2. IMAGES SATELLITES PLEIADES (2013)

La classification créée à l'aide des images satellites Pléiades multi-date (annexe 1) permet d'utiliser l'indice BTBR bi-temporel (21/06/2013 et 28/11/2013). Les résultats de l'évaluation de la qualité de la classification sont présentés dans le tableau 9.

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	17	67	84	20,24	79,76
	not renouée	41	3938	3979	98,97	1,03
		58	4005	4063		
		précision utilisateur (%)	29,31	98,33		
		erreur de commission (%)	70,69	1,67		

Somme Commission	41	67	
Somme omission	67	41	
Produit par ligne (Omission Commission)	2747	2747	5494
			Somme
Kappa	0,97680815		

TABLEAU 9: MATRICE DE CONFUSION ET INDICE DE KAPPA DE LA CLASSIFICATION ISSUE DES IMAGES SATELLITES PLEIADES

Les erreurs de commission de la classe Renouée asiatique s'élèvent à 70,69%. Cela signifie que 70,69% des polygones de cette classe correspondent en réalité à une autre classe. Les erreurs d'omission s'élèvent à 79,76%, ce qui signifie que 79,76% des polygones classés dans la classe « not renouée » sont en réalité des renouées asiatiques.

L'indice de Kappa s'élève à 0,97. Comme il est indiqué précédemment, il n'est pas représentatif du résultat de la classification, et l'indice de précision utilisateur servira de calcul de précision.

La précision de la classification issue des images satellites Pléiades multi-dates est de 29,31%.

Les indices de textures ainsi que le BTBR ont été les indices principalement utilisés dans cette classification. L'indice BTBR a été construit à partir des bandes spectrales Rouge et Vert de deux images satellitaires : l'une datant de juin 2013 et l'autre de novembre 2013. Malheureusement, le ratio de bande bi-temporel est biaisé sur certaines zones du site étudié du fait des nombreuses ombres portées.

Les bandes spectrales du visible et du proche infrarouge de deux images satellites prises à différentes périodes couplées à une résolution spatiale de 50 cm ne permettent pas de créer

une classification satisfaisante des renouées asiatiques avec les images disponibles sur la commune de Serrières. Ceci n'est pas un résultat définitif permettant d'écartier toutes les images Pléiades, comme nous le verrons dans la discussion.

3.1.3. IMAGES BRUTES IRC (2013)

La classification créée à l'aide des images brutes IRC de l'IGN (annexe 3) donnent l'occasion de créer une orthophoto et un MNS THRS d'une résolution spatiale de 50 cm. Les résultats de l'évaluation de la qualité de la classification sont présentés dans le tableau 11.

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	5	50	55	9,09%	90,91%
	not renouée	50	6909	6959	99,28%	0,72%
		55	6959	7014		
	précision utilisateur (%)	9,09%	99,28%			
	erreur de commission (%)	90,91%	0,72%			

Somme Commission	41	67	
Somme omission	67	41	
Produit par ligne (Omission Commission)	2747	2747	5494
			Somme
Kappa	0,9857		

TABLEAU 10: MATRICE DE CONFUSION ET INDICE DE KAPPA DE LA CLASSIFICATION ISSUE DES IMAGES BRUTES IRC DE L'IGN

Les erreurs de commission de la classe Renouée asiatique s'élèvent à 90,91%. Cela signifie que 90,91% des polygones de cette classe correspondent en réalité à une autre classe. Les erreurs d'omission s'élèvent à 90,91%, ce qui signifie que 90,91% des polygones classés dans la classe « not renouée » sont en réalité des renouées asiatiques.

La précision de la classification issue des images satellites brutes IRC de l'IGN est de 29,31%.

Le MNS généré à partir des images brutes ne permet pas de discriminer les objets « végétation arbustive » puis « renouées asiatiques » (faisant partie de la végétation arbustive).

Un Modèle Numérique de Surface d'une résolution spatiale de 50 cm ne permet pas de créer une classification satisfaisante des renouées asiatiques.

3.1.4. IMAGES PROVENANT D'UN DRONE (2015)

La classification créée à l'aide des photographies prises par drone (Figure 23) donnent l'occasion de créer une orthophoto et un Modèle Numérique de Surface THRS, dont la résolution spatiale est inférieure à 10 centimètres. Les résultats de l'évaluation de la qualité de la classification sont présentés dans le tableau 11.

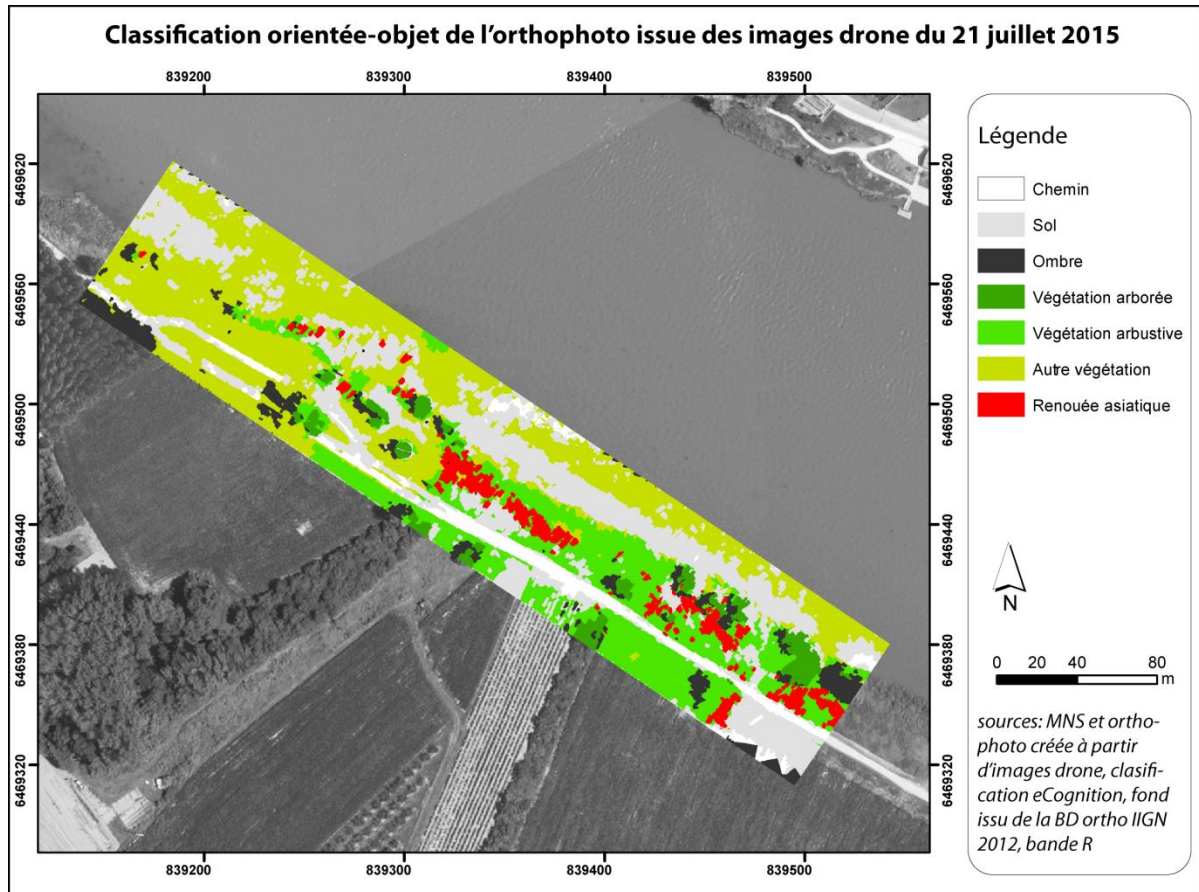


FIGURE 23: RESULTATS DE LA CLASSIFICATION ISSUE DES IMAGES DRONE

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	13	22	35	37,14%	62,86%
	not renouée	37	1332	1369	97,30%	2,70%
		50	1354	1404		
	précision utilisateur (%)	26,00%	98,38%			
	erreur de commision (%)	74,00%	1,62%			

TABLEAU 11: MATRICE DE CONFUSION DE LA CLASSIFICATION ISSUE DES IMAGES DRONE

Les erreurs de commision de la classe Renouée asiatique s'élèvent à 74% (Tableau 11). Cela signifie que 74% des polygones de cette classe correspondent en réalité une autre classe.

Les erreurs d'omission s'élèvent à 62.86%, ce qui signifie que 62,86% des polygones classés dans la classe « not renouée » sont en réalité des renouées asiatiques.

La précision utilisateur de la classification issue des images drone est de 26%.

Cependant, la précision utilisateur augmente lorsque n'est prise en compte qu'une zone réduite de la classification, appelée le zone centrale de la classification drone, car le biais créé par la différence d'altitude entre le Nord-ouest et le Sud-est de l'orthophoto drone (5,25 mètres de différence d'altitude sur 430 m) biaise les résultats (Figure 24).

Alors, la précision utilisateur augmente de 46,73 points et passe à 72,73% (tableau 12).

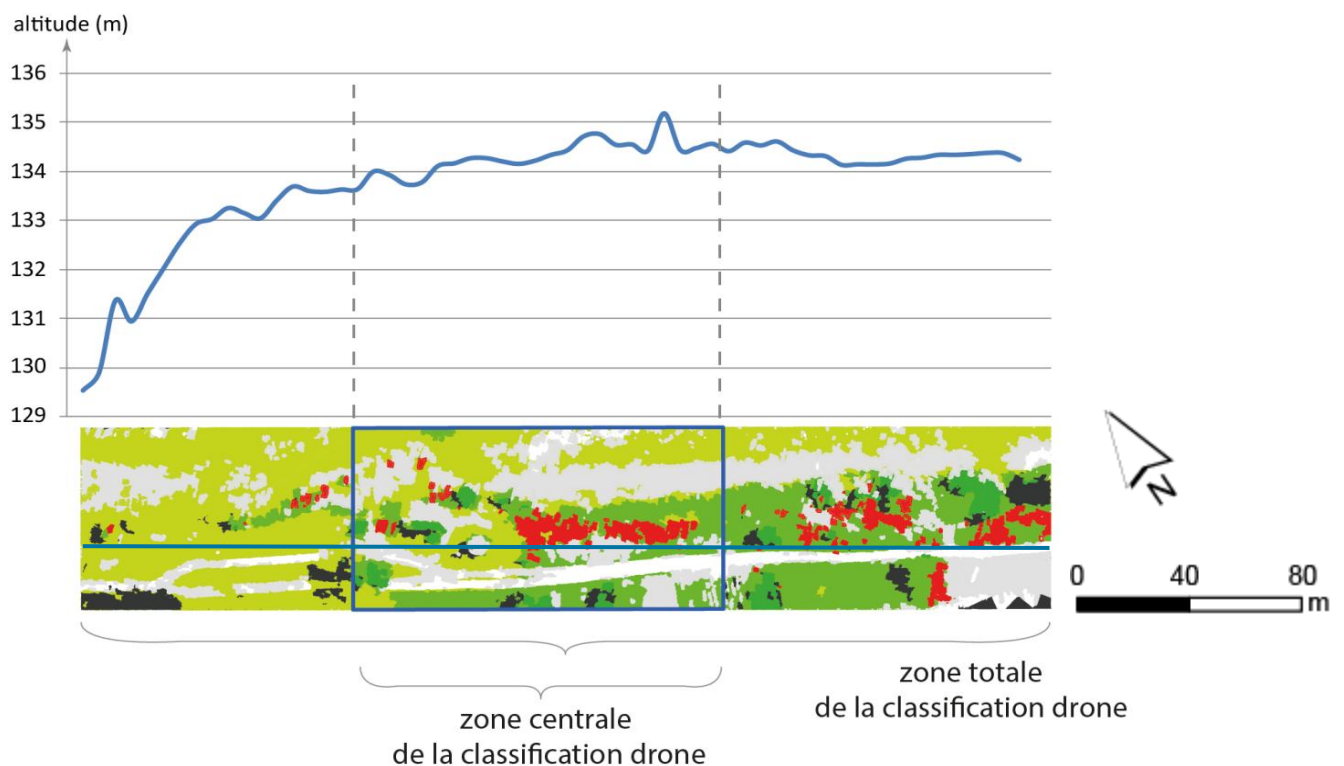


FIGURE 24: COUPE TOPOGRAPHIQUE DU MNS ISSU DES IMAGES DRONE

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	16	6	22	72,73%	27,27%
	not renouée	6	490	496	98,79%	1,21%
		22	496	518		
		précision utilisateur (%)	72,73%	1,22%		
		erreur de commission (%)	27,27%	98,78%		

Somme Commission	6	6	
Somme omission	6	6	
Produit par ligne (Omission Commission)	36	36	72
			Somme
Kappa	0,9768		

TABLEAU 12: MATRICE DE CONFUSION ET INDICE DE KAPPA DE LA ZONE CENTRALE DE LA CLASSIFICATION ISSUE DES IMAGES DRONE (5M)

La précision utilisateur augmente lorsque les points de contrôle sont à 1 mètre l'un de l'autre. Sa précision utilisateur atteint 78,35% (tableau 13).

		classe estimée			précision producteur (%)	erreur d'omission (%)
		renouée	not renouée			
classe réelle	renouée	257	237	494	52.02%	47.98%
	not renouée	71	12323	12394	99.43%	0.57%
		328	12560	12888		
		précision utilisateur (%)	78.35%	98.11%		
		(%)	21.65%	1.89%		

Somme Commission	71	237	
Somme omission	237	71	
Produit par ligne (Omission Commission)	16827	16827	33654
			Somme
Kappa	0,9761		

TABLEAU 13: MATRICE DE CONFUSION ET INDICE DE KAPPA DE LA ZONE CENTRALE DE LA CLASSIFICATION ISSUE DES IMAGES DRONE (1M)

3.2. DISCUSSION ET LIMITES DES RESULTATS

Les calculs de précision des classifications issues des images Pléiades (2013) et ortho IRC (2012 et 2013) sont biaisés car aucun relevé GPS des taches de renouées de ces années n'existe. En effet, les données de validation datent du 21 juillet 2015. Certaines taches de renouées apparues depuis introduisent un biais qui peut expliquer en partie les erreurs d'omission et de commission.

3.2.1. BD ORTHO IRC (2012)

Les résultats de la classification issue de la BD ortho IRC montrent une précision de détection significativement inférieure à ce qui a pu être observé dans les travaux précédents (Dorigo et al., 2012). Ceci est sans doute dû à la disponibilité d'images à des dates imposées (et peu renseignées) et à l'écart de date entre la prise de vue et les observations sur le terrain (3 ans).

Les bandes spectrales Rouge, Vert et Proche Infrarouge couplées à une résolution spatiale de 50 cm ne permettent pas une classification satisfaisante des renouées asiatiques. La bande proche infrarouge permet de classifier correctement la végétation dans son ensemble mais ne permet pas de distinguer la renouée asiatique des autres types de végétation.

Les 3 indices de textures utilisés n'ont pas permis de mieux classifier ces plantes invasives. A cette résolution spatiale, la texture n'a pas permis une meilleure discrimination de la renouée asiatique.

3.2.2. IMAGES SATELLITES PLEIADES (2013)

L'utilisation seule de l'indice de végétation normalisé NDVI ne suffit pas à détecter les taches de renouées asiatiques sur le site de Serrières. Cela est dû en partie aux dates de prise de vue des images satellites, en juin et novembre. L'indice BTBR est biaisé par les zones d'ombres créées en automne (limites de forêts, bâtiments, etc.). De nombreuses ombres portées recouvrent certaines taches de renouées. Par ailleurs certaines taches ont pu faire l'objet d'un fauchage entre les deux dates, ce qui a pu créer une hétérogénéité supplémentaire dans les valeurs spectrales, et donc diminuer la précision de la classification.

L'indice BTBR (ratio de bande bi-temporel) apporte une information supplémentaire, mais ne permet pas de discriminer correctement les taches de renouées asiatiques sur le site de Serrières. Cela est dû à la date de prise de vue des images satellites. Certaines taches de renouées asiatiques sont recouvertes d'ombres portées par l'image satellite prise hors période végétative (datant du 28 novembre 2013) (Figure 26).



FIGURE 26 : OMBRES PORTEES SUR LES IMAGES SATELLITES PLEIADES PRISES EN HIVER

Cependant, Il semble que l'indice BTBR peut être un outil très important dans la détection automatisée de ces plantes invasives. Cette méthode de classification, utilisant des images satellites Pléiades multi-date de la même année, a donné de meilleurs résultats sur le site de Vérin (à proximité de Serrières, également en bordure du Rhône, dans le département de la Loire). Pour ce site, le jeu d'images satellites correspondait à des périodes plus intéressantes (13 juin et 27 octobre), et le résultat semble bien plus satisfaisant (Figure 25).

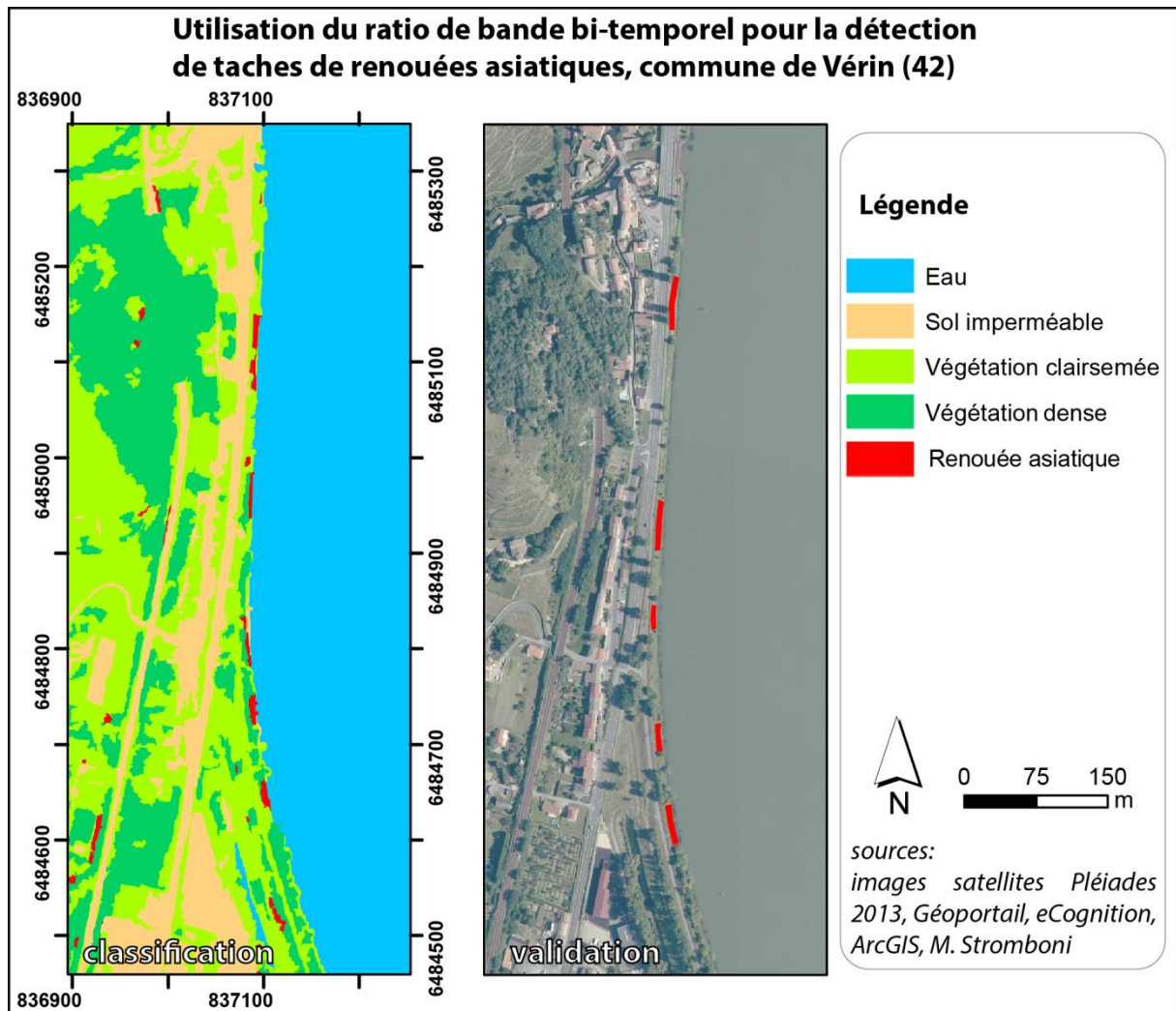


FIGURE 25: UTILISATION DE L'INDICE BTBR SUR LA COMMUNE DE VERIN (42)

En l'absence de relevés GPS des taches de renouées asiatiques, il est impossible de calculer la précision utilisateur de la classification.

Cela démontre que la date de prise de vue des images satellites a une importance primordiale dans la réussite de la classification. Il est essentiel de les faire correspondre à des périodes où les différences phénologiques avec la végétation environnante sont les plus marquées : si possible au début de printemps (avril-mai) lorsque les autres végétaux n'ont pas encore commencé leur croissance, et en automne (octobre) lorsque les tiges aériennes de renouées sont en phase de sénescence (teinte rougeâtre caractéristique des feuilles).

3.2.3. IMAGES BRUTES IRC (2013)

Les photos aériennes issues de l'ortho-photographie Infrarouge de l'IGN ont été prises après un fauchage des renouées asiatiques sur la zone étudiée. Certaines taches de renouées asiatiques ont une apparence différente, de couleur rouge-marron. Il est possible qu'un fauchage ait été effectué sur cette zone, peu de temps avant la prise de photographies aériennes.

Le Modèle Numérique de Surface et ses dérivés (courbure, ombrage et pente) n'améliorent pas la qualité de la classification. L'écart de hauteur entre la renouée asiatique et la végétation arbustive n'est pas suffisamment marqué, car la résolution spatiale est trop faible (Figure 27). Ce type de méthode nécessite un travail dont le temps de traitement est très long, pour des résultats finaux peu concluants.

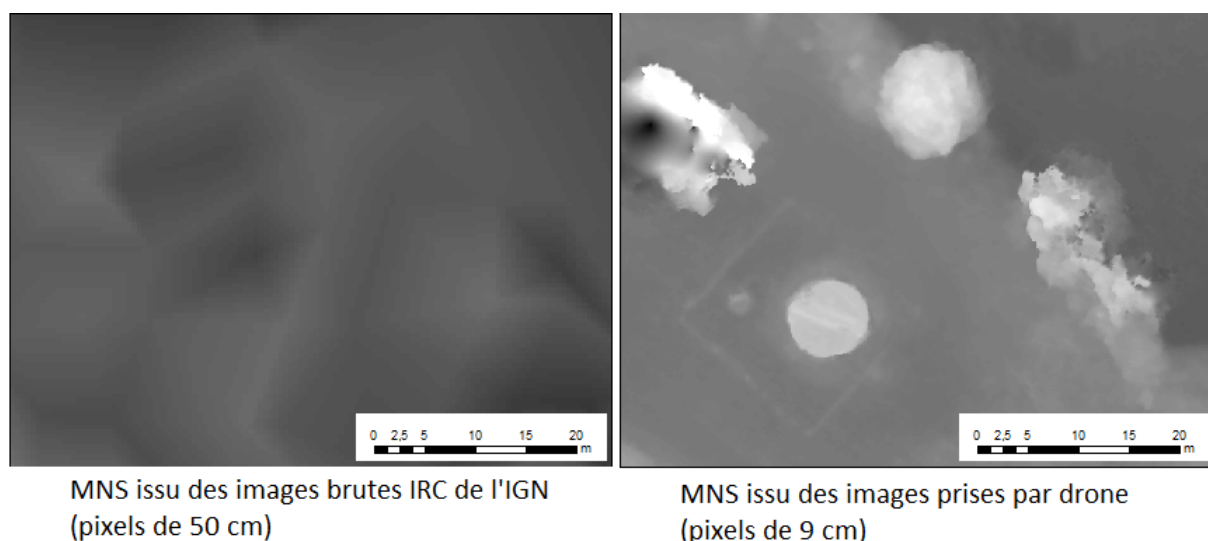


FIGURE 27: COMPARAISON DES DEUX MNS CREEES

Les éléments de textures ne permettent pas de discriminer la renouée asiatique car la résolution spatiale est trop faible.

3.2.4. IMAGES PROVENANT D'UN DRONE (2015)

La classification issue des prises de vues du drone donne les meilleurs résultats en termes de qualité de classification. Dans cette classification, les éléments de texture ne sont pas des variables déterminantes dans la discrimination végétation arbustive-renouée n'ont pas permis de discriminer la végétation. La fenêtre (taille de kernel) utilisée est de 43 pixels, équivalent à un carré 86 centimètres de côté (0,022m de résolution spatiale multiplié par 43). Le résultat est très hétérogène au sein même des taches de renouées et ne permet pas de la séparer de la végétation arbustive. Il serait intéressant de comparer les résultats issus de différentes tailles de kernel. Il semble que l'outil développé pour de la très haute résolution spatiale métrique n'est pas adapté à de l'ultra haute résolution subdécimétrique.

Cependant, le site n'est pas totalement plat, la différence d'altitude entre les deux extrémités du site d'étude de Serrières est de 5,25m (pente de 1,22%), ce qui introduit une hétérogénéité dans le Modèle Numérique de Surface (sursol). La discrimination sur cette variable entre la végétation haute environnante et la renouée asiatique n'est donc pas satisfaisante.

Par ailleurs, il faut noter que la couche IRC n'était pas disponible pour ces images, alors qu'elle est nécessaire dans le calcul d'indices de végétation et qu'elle permet une meilleure discrimination.

Pour pallier à ces problèmes de variable de sursol, il faudrait effectuer un vol drone hors période végétative, en hiver. Il suffirait de calculer la différence d'altitude entre le MNS généré en juillet et celui généré en hiver et de garder seulement les écarts d'altitude.

Cette méthode est reproductible à grande échelle, sur une petite portion du territoire. A petite échelle, l'usage du drone pour la création de Modèles Numériques de Surface et d'orthophotos THRS peut devenir complexe et l'acquisition deviendrait longue et fastidieuse. Un vol de drone permet de recueillir des données aériennes d'une portion de 200 mètres de largeur sur 200 mètres de longueur maximum. De plus, le vol de drone nécessite des conditions météorologiques et légales optimales, ce qui réduit les zones et les périodes possibles de survol. Cependant, les zones d'expansion possible des renouées asiatiques sont très vastes ; et les périodes optimales d'acquisition sont très précises. On peut donc s'attendre à ce que, dans certaines situations, de telles contraintes remettent en cause l'utilisation du drone.

3.3. PERSPECTIVES: VERS UNE AUTOMATISATION DE LA METHODE DE CLASSIFICATION ?

Pour chacune de ces classifications, le temps a manqué pour exploiter au maximum les différentes techniques et faire de nouveaux réglages. Il y a sans doute encore des possibilités d'améliorer les précisions des différentes classifications (Tableau 14).

Classification	Précision utilisateur	
	Points de contrôle à 5m	Points de contrôle à 1m
BD ortho IRC	3,57%	/
Image Multi-date Pléiades	20,24%	/
Images ortho IRC	9,09%	/
Images issues d'un drone	72,73%	78,35%

TABLEAU 14: COMPARAISON DE LA PRECISION PRODUCTION DES 4 CLASSIFICATIONS

On peut quand même penser que les différences de précision entre ces classifications resteront du même ordre, et donc que les améliorations apportées par le drone resteront les plus importantes. Il semble bien que ce soit cette voie qu'il faille privilégier dans nos recherches à l'avenir.

Je n'ai pas pu étudier la combinaison de plusieurs sources d'informations (ex : MNS du drone + BD ortho IRC). La difficulté à ce niveau est que les données ont des résolutions très différentes. A terme, le drone devrait suffire puisqu'il pourra embarquer plus de capteurs, et pourra donc apporter l'ensemble des données cohérentes (visibles, IRC, MNS). L'avantage du drone est aussi de fournir des prises de vue récentes, alors que les images satellites et photographies aériennes sont souvent plus anciennes (dans notre cas : écart d'au moins deux années). Une nouvelle fois, le problème est que les conditions de vol contraignantes peuvent limiter dans le temps et dans l'espace les potentialités du drone.

A l'avenir, il sera intéressant de tester: utilisation du drone avec plusieurs prises de vue sur des périodes précises (début de printemps et automne). La hauteur de végétation serait disponible par soustraction des Modèles Numérique de Surface créés à partir de photographies en été et en hiver :

Différence de végétation été/hiver = MNS « été » - MNS « hiver »

Ainsi, on se rapprocherait d'une méthode quasi-automatique de classification des renouées asiatiques, reproductible sur d'autres sites.

CONCLUSION

Le couplage de l'utilisation des images à très haute résolution spatiale et des dérivés du modèle Numérique de Surface se sont révélés efficaces pour une classification sur quatre. La meilleure précision de classification est de 72,73%, grâce à l'utilisation d'images issues de drone.

La comparaison des résultats des classifications issues de la BD ortho IRC et des images (stéréoscopiques, permettant la création d'un modèle numérique de surface) ortho IRC de l'IGN prouve que l'ajout de données d'altitude augmente considérablement la précision de la classification, avec 9,09% de précision en plus pour la classification dotée d'un modèle numérique de surface. De plus, bien que certains biais apparaissent, l'utilisation d'images multi-dates prises durant différentes périodes de l'année peut se révéler efficace, à condition d'acquérir des images sans ombres portées. La classification issue des images Pléiades multi-dates a une précision de 20,24%, tandis que la précision de la classification issue de la BD ortho IRC s'élève seulement à 3,57%. Enfin, plus la résolution spatiale du modèle numérique de surface et de ses dérivés est élevée, plus la précision de la classification des taches de renouées asiatiques est élevée. En effet, la classification issue des images drone (72,73% de précision) est 2,5 fois plus précise que celle issue des images brutes IRC (9,09% de précision).

Des problèmes sont apparus, notamment causés par l'absence de choix de date de prise de vue des images aériennes et satellitaires. Les fauchages effectués sur le site de Serrières biaisent quelque peu les résultats, puisque la réponse spectrale recherchée s'effectue sur des taches de renouées non fauchées. Divers types de taches de renouées apparaissent : hauteur de 2m, en repousse, de couleur brunâtre, etc. L'ajout des éléments de texture n'apporte pas systématiquement une amélioration de la classification, car certains types de végétation ont des textures similaires à la renouée asiatique, ou la résolution spatiale est insuffisante. Une Analyse en Composante Principale (ACP) permettrait de sélectionner les éléments de textures les plus appropriés pour des images à très haute résolution spatiale. Le choix de la taille de kernel doit être sélectionnée en fonction de la taille des objets à classifier et de la résolution spatiale des images THRS.

Cette méthode de classification des taches de renouées asiatiques et l'apport d'images à très haute résolution spatiale, inférieure à 3 cm, est cependant une avancée. Une telle résolution spatiale pourrait également permettre de créer différentes classes de taches de renouées asiatiques selon la densité du feuillage, et pourquoi pas modéliser la future expansion des taches de renouées asiatiques. L'ajout de la bande spectrale Proche Infrarouge d'une très haute résolution spatiale pourrait également aider à la qualité de la classification. L'utilisation d'un logiciel utilisé dans la segmentation et la classification cellulaire pourrait apporter des réponses au problème de résolution spatiale THRS.

L'intégration d'indices relatifs à l'espace tel que l'indice de distance aux infrastructures de transport pourrait également apporter une précision supplémentaire à la classification.

BIBLIOGRAPHIE

ARTICLES ET OUVRAGES

BEERLING. D. J., BAILEY. J. P., CONOLLY. A. P., 1994. Biological flora of the British Isles no. 183: Fallopia Japonica. Journal of ecology 82, 959-979

BOYER M., 2009, Une nouvelle technique d'éradication mécanique des renouées du Japon testée avec succès au bord de l'Ain et de l'Isère. Ingénierie n°57-58, pp 17-31

BOZEC M., MOREAU C., TIROT O., FORET S., HAURY J., 2012. Expérimentation de pâturage de renouée par des chèvres rustiques. Présenté au Colloque national renouées asiatiques, Saint-Etienne, France (2012-10-23 - 2012-10-24).

CHILD L., WADE M., 2000. Japanese knotweed manual, the management and control of an invasive alien weed. Packard publishing limited Chichester, 123 p.

CLAUSI, 2002. An analysis of co-occurrence texture analysis as a function of grey level quantization. Canadian Journal of Remote Sensing, vol 28, issue 1

DORIGO W., LUCIEER A., PODOBRIKAR T., CARNI A., 2012. Mapping invasive Fallopia Japonica by combined spectral, spatial and temporal analysis of digital orthophotos.

DUPAQUIER. C., DESBROSSE. A., MAUREL. P., PLANT. R., RUOSO. L., ROUSSILLON. J-F., 2014. Apports de l'imagerie Pléiades à la gestion intégrée des zones côtières, application au territoire de Thau. Revue Française de photogrammétrie et de Télédétection 208, 45-50

GERBER E., 2012, Techniques d'intervention : la lutte biologique classique (présenté lors du colloque)

Haralick, R. M., 1979. Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of the IEEE, 67(5), 786-804

JONES, D., PIKE, S., THOMAS, M., MURPHY, D., 2011. Object-based image analysis for detection of Japanese knotweed taxa (Polygonaceae) in Wales (UK). Remote Sensing 3, 319–342.

LACHENAL P., 2015, Utilisation d'imagerie aérienne Très Haute Résolution Spatiale pour le suivi de la recolonisation végétale sur une zone de compensation écologique EDF : l'île Falcon (Isère). Mémoire de Master 2 STADE (Institut de Géographie Alpine), Irstea Grenoble

LILLSAND, T., KIEFER R., 1987. Remote sensing and image interpretation

McFEETERS S. K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, volume 17, issue 7, pp. 1425-1432

MORET C., 2012, Expériences de lutte contre la Renouée du Japon sur deux rivières de Côtes d'Armor (présenté lors du colloque des renouées asiatiques le 23 et 24 octobre 2012).

MÜLLEROVA J., PERGL J., PYSEK P., 2013. Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: testing the effects of date resolution and image classification approach on the detection of a model plant species *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 25

MURRAY. H., LUCIEER. A., WILLIAMS. R., 2010. Texture-based classification of sub-Antarctic vegetation communities on Heard Island. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12, 138-149

NGO.T-T., COLLET.C., MAZET. V., juin 2014. Détection simultanée de l'ombre et la végétation sur des images aériennes couleur en haute résolution. *Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA)*

PUISSANT, A., HIRSCH, J., WEBER, C., 2005. The utility of texture analysis to improve perpixel classification for high to very high spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing* 26 (4), 733–745.

RACHEX. D., 2014. Caractérisation automatisée large échelle, du stade invasif des renouées asiatiques sur le bassin versant de l'Azergues. *Mémoire de Master 1*

RASTNER P., BOLCH T., NOTARNICOLA C., PAUL F., 2014. A comparison of pixel- and object-based glacier classification with optical satellite images. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Journal of IEEE*.

ROUSE J., et al., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third Symposium on Significant Results Obtained with ERTS-1, NASA Goddard Space Flight Center, p.309-317

SHOUSE, M., LIANG, L., FEI, S., 2013. Identification of understory invasive exotic plants with remote sensing in urban forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 525-534

TSAI.F., CHOU. M-J., WANG H-H., 2005. Texture analysis of high resolution satellite imagery for mapping invasive plants. International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS), vol 4, 3024-3027

TSAI.F., CHOU.M-J., 2006.Texture augmented analysis of high resolution satellite imagery in detecting invasive plant species. journal of the Chinese institute of Engineers, Transactions of the Chinese institute of Engineers. Series A/Chung-kuokungCh'engHsugK'an 29 (4), 581-592

Tucker C. J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation.Remote Sensing of Environment 8, pp. 127-150

MANUELS

- ✓ AgisoftphotoScan User manal, Professional edition, version 1.0.0, 2013, 65 p.
- ✓ Definiens Developer XD 2.0.4, reference book, 2012, 414 p.
- ✓ Pléiades Imagery User Guide, Astrium GEO-Information Services, octobre 2012, 118 p.

SITOGRAFIE

ENSG géomatique, savoirs : photogrammétrie

<http://www.ensg.eu/Les-images-pour-la-photogrammetrie> (consulté le 12 juin 2015)

Programme ITTECOP

<http://www.ittecop.fr/index.php/recherches-cat/47-recherches-ittecop/recherches-2014/132-dynarp> (consulté le 3 juillet 2015)

UICN : Liste des 100 espèces exotiques envahissantes les plus néfastes au monde

http://www.issg.org/worst100_species.html (consulté le 03 août 2015)

Global Invasibe Species Database : fallopia Japonica

http://www.issg.org/database/species/distribution_detail.asp?si=91&di=26606&sts=&lang=FR (consulté le 3 août 2015)

Colloque national des renouées asiatiques (2012)

<http://www.colloque-renouee.com/2012/co/0-Merci-Renouees.html> (consulté le 12 août 2015)

Blog de tutoriel en télédétection

<http://letters-sal.blogspot.fr/2014/05/exporting-vector-data-with-class-names.html> (consulté le 12 août 2015)

Université Paris-8

<http://margaux.ipt.univ-paris8.fr/vgodard/enseigne/teled2/memotele/mem44tel.htm>

(Consulté le 31/08/2015)

IRD

http://www.irdp.ch/edumetrie/lexique/coef_kappa.htm (consulté le 31/08/2015)

FILMOGRAPHIE

Les plantes invasives, quel danger pour la planète et les humains ?, arte documentaire, diffusé le dimanche 26 juillet 2015 – 53 mn

TABLE DES FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1: les images satellites fréquemment utilisées en télédétection	15
Tableau 2: indices spectraux utilisés	19
Tableau 3: précision spatiale des contours de taches relevés au GPS à Serrières (07)	20
Tableau 4: caractéristiques des modèles numériques de surface générés	21
Tableau 5: les erreurs quadratiques moyennes des orthophotos et MNS générés	21
Tableau 6: caractéristiques des éléments de texture d'Haralick (manuel Definiens)	23
Tableau 7: lecture d'une matrice de confusion	28
Tableau 8: matrice de confusion et indice de KAPPA de la classification issue de la BD ortho IRC.....	29
Tableau 9: matrice de confusion et indice de Kappa de la classification issue des images satellites Pléiades	30
Tableau 10: Matrice de confusion et indice de Kappa de la classification issue des images brutes IRC de l'IGN	31
Tableau 11: Matrice de confusion de la classification issue des images drone.....	32
Tableau 12: matrice de confusion et indice de Kappa de la zone centrale de la classification issue des images drone (5m).....	34
Tableau 13: matrice de confusion et indice de Kappa de la zone centrale de la classification issue des images drone (1m).....	34
Tableau 14: comparaison de la précision production des 4 classifications	39

FIGURES

Figure 1: problématique générale, données utilisées, classifications et interactions.....	9
Figure 2: carte de localisation et délimitation du site d'étude de Serrières (07)	11
Figure 3: Le cycle de vie des renouées asiatiques et les caractéristiques phénologiques (adapté de Child et al. (2000)).....	12
Figure 4 : Dessins de Fallopia Japonica (Barney et al., 2006)	12
Figure 5: principe de télédétection (stromboni, 2015).....	13
Figure 6: les ondes électromagnétiques fréquemment utilisées en télédétection (université Paris-1).....	14
Figure 7: les principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen (adapté de l'UVED).....	14
Figure 8: principe de la photogrammétrie	16
Figure 9: le ratio de bande bi-temporel	17
Figure 10: Méthodologie du travail préparatoire	18
Figure 11: les objets finaux retenus pour la classification	19
Figure 12: Capture d'écran du logiciel Agisoft Photoscan	20

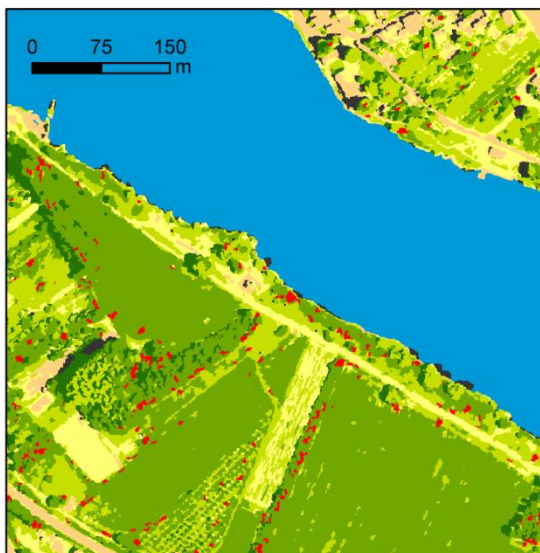
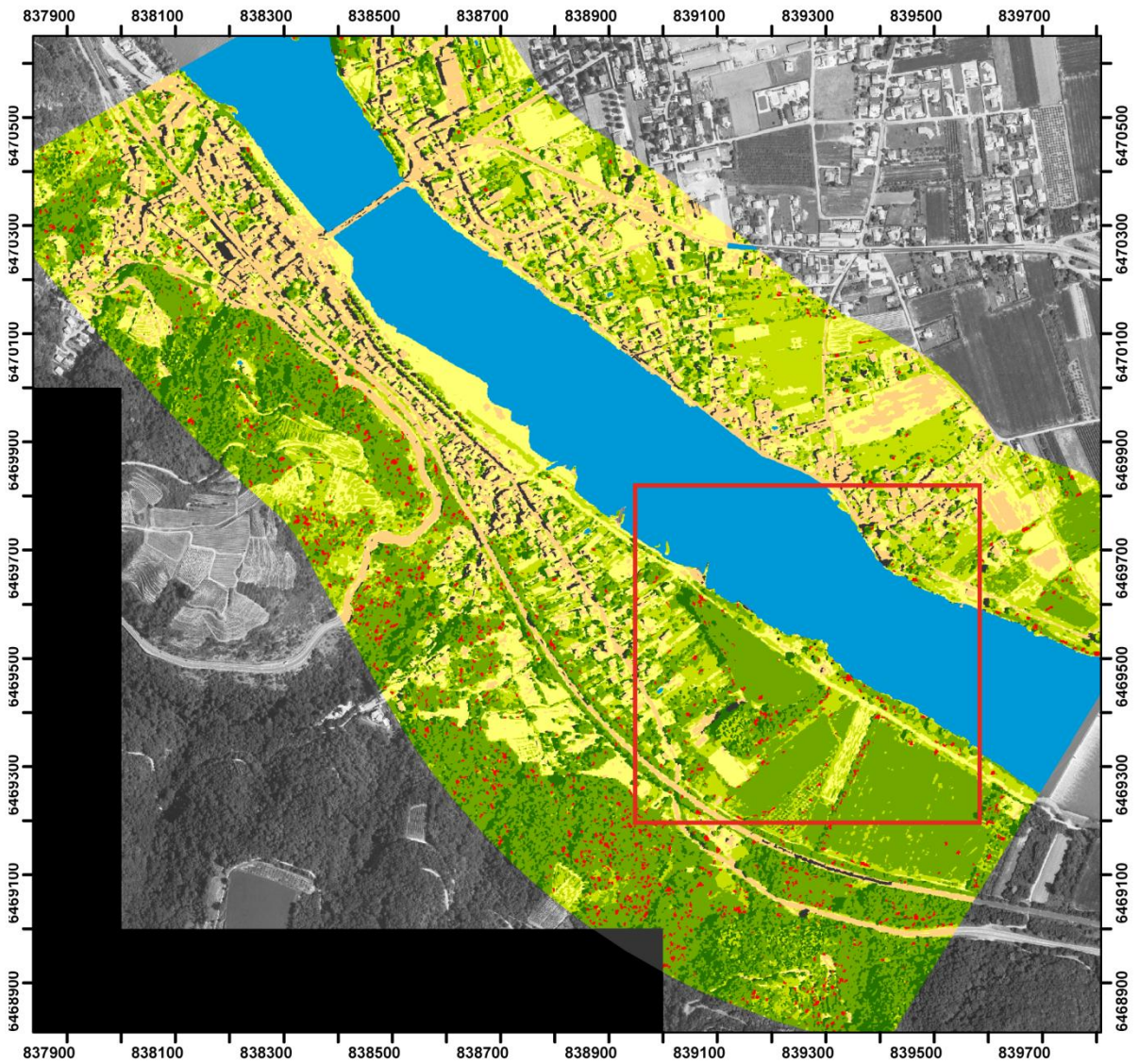
Figure 13: Méthodologie de la création d'orthophotos et de MNS avec Agisoft Photoscan ..	20
Figure 14: carte des erreurs quadratiques moyennes Z du MNS issu des images drone	22
Figure 15: couches dérivées du MNS issu des images drone	22
Figure 16: méthodologie de la classification.....	24
Figure 17: les 3 elements de texture d'Haralick utilisés	24
Figure 18: les 4 niveaux de segmentation utilisés	25
Figure 19: exemple d'utilisation des indices spectraux NDVI et NDWIF1	25
Figure 20: méthodologie de la classification orientée-objets des images issues du drone	26
Figure 21: Méthodologie de la validation	27
Figure 22: données d'entraînement, de validation et cadre de la zone de contrôle	27
Figure 23: Résultats de la classification issue des images drone.....	32
Figure 24: coupe topographique du MNS issu des images drone	33
Figure 25: utilisation de l'indice BTBR sur la commune de Vérin (42).....	36
Figure 26 : Ombres portées sur les images satellites Pléiades prises en hiver.....	36
Figure 27: comparaison des deux MNS créés	37

SOMMAIRE

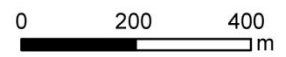
Remerciements	1
résumé	2
abstract	2
Liste des abréviations.....	3
Introduction.....	5
1. Contexte scientifique, du projet initial à la problématique finale	7
1.1. Contexte général de l'étude.....	7
1.1.1. Le centre de recherche IRSTEA	7
1.1.2. Le projet de recherche DYNARP.....	7
1.1.3. La mission de recherche.....	7
1.2. Problématique générale	8
1.2.1. Problématique.....	8
1.2.2. Objectifs	8
1.3. Contexte géographique.....	10
1.3.1. Les critères de sélection du site d'étude.....	10
1.3.2. Localisation du site	10
1.4. Etat des connaissances : l'utilisation des techniques de télédétection et de photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques	11
1.4.1. La renouée asiatique, une plante invasive préoccupante	11
1.4.2. L'analyse spatiale, combinant télédétection et photogrammétrie	13
1.4.3. La télédétection des renouées asiatiques.....	16
2. Méthodologie de travail.....	18
2.1. Travail préparatoire	18
2.1.1. Interprétation visuelle et sélection des objets de la classification	18
2.1.2. Sélection des indices spectraux.....	19
2.1.3. Relevés des contours de taches de renouées asiatiques au GPS	20
2.1.4. Création d'une orthophoto et d'un Modèle Numérique de Surface par photogrammétrie.....	20
2.1.5. Création de couches dérivées du Modèle Numérique de Surface.....	22
2.1.4. Sélection de la taille du Kernel pour la création de couches de texture	22
2.1.6. Création des 3 couches de texture.....	23

2.2. La classification orientée-objet des renouées asiatiques	24
2.2.1. Import des images, création des néo-canaux et des indices spectraux	24
2.2.2. Segmentation à quatre échelles différentes	25
2.2.3. Classification orientée-objet.....	26
2.3 validation de la classification	27
2.3.1. Création d'une couche de points de contrôle.....	27
2.3.2. Conception de la matrice de confusion et de l'indice de Kappa.....	28
3. Résultats et discussion	29
3.1. Résultats des différentes classifications.....	29
3.1.1. BD ortho IRC (2012).....	29
3.1.2. Images satellites Pléiades (2013)	30
3.1.3. Images brutes IRC (2013)	31
3.1.4. Images provenant d'un drone (2015)	32
3.2. Discussion et limites des résultats.....	35
3.2.1. BD ortho IRC (2012).....	35
3.2.2. Images satellites Pléiades (2013)	35
3.2.3. Images brutes IRC (2013)	37
3.2.4. Images provenant d'un drone (2015)	38
3.3. Perspectives: vers une automatisation de la méthode de classification ?	39
Conclusion	40
Bibliographie	42
Articles et ouvrages.....	42
Manuels	44
Sitographie	44
Filmographie.....	45
Table des figures.....	46
tableaux	46
figures	46
Annexes	50

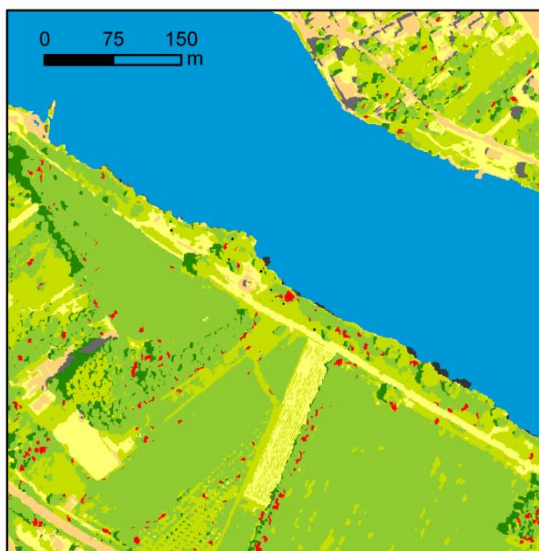
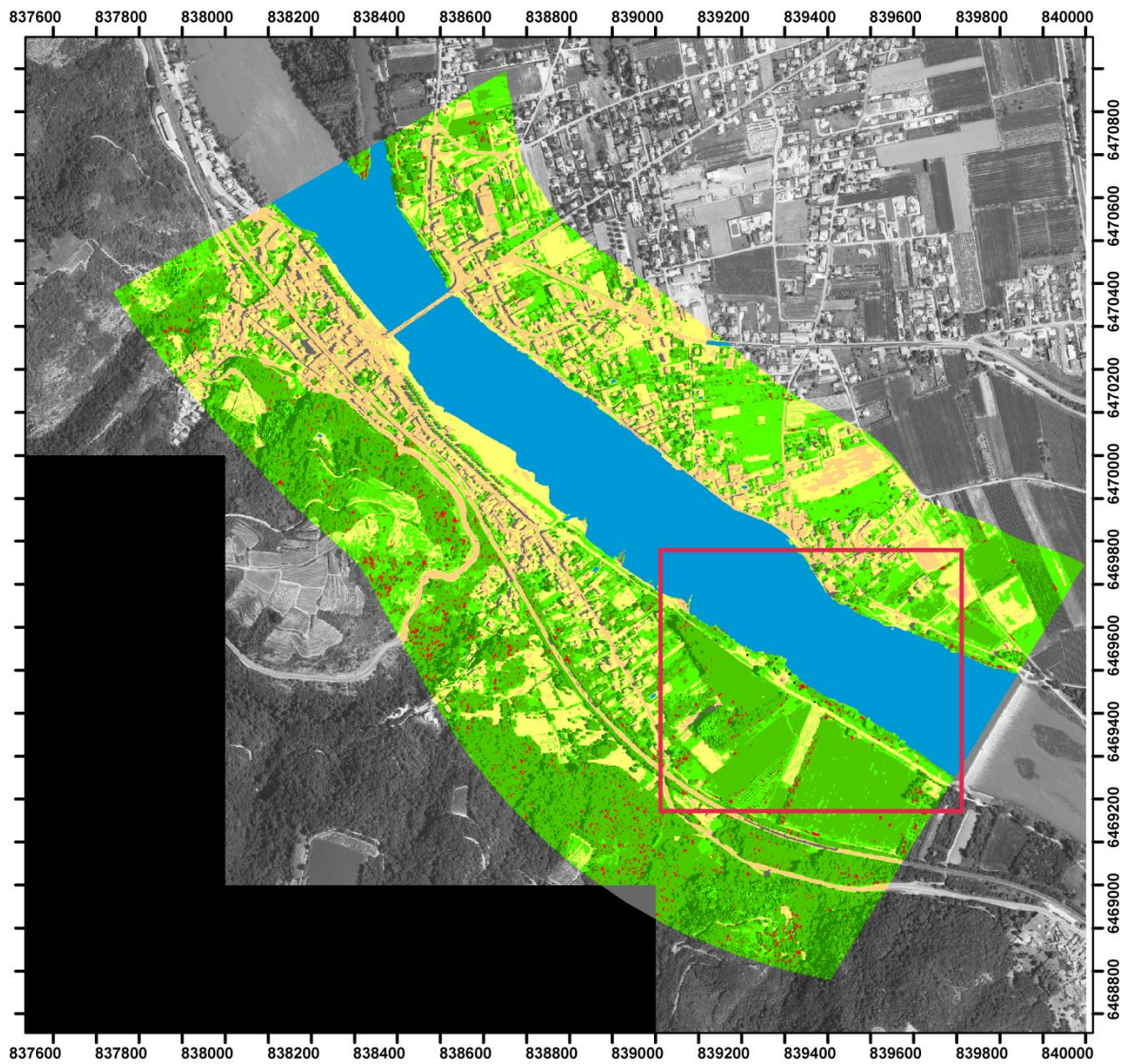
Classification de la commune de Serrières issue des images Pléiades multi-date



- Cours d'eau
- Ombre
- Renouée asiatique dense
- Sol imperméable
- Sol nu
- Végétation clairsemée
- Végétation ombragée
- Végétation dense

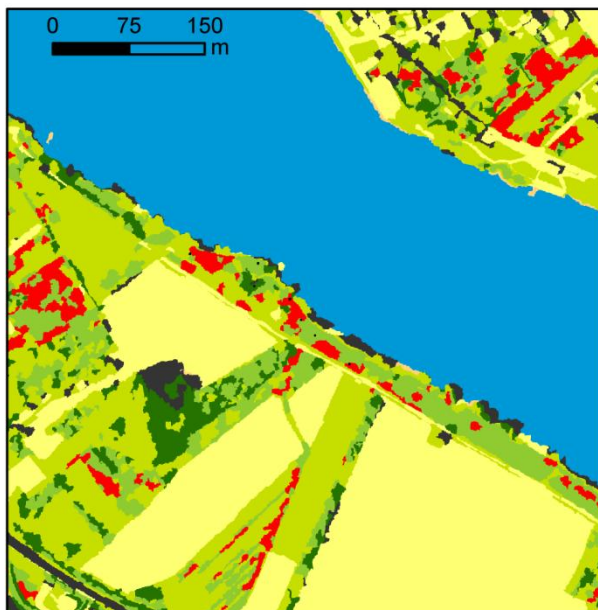
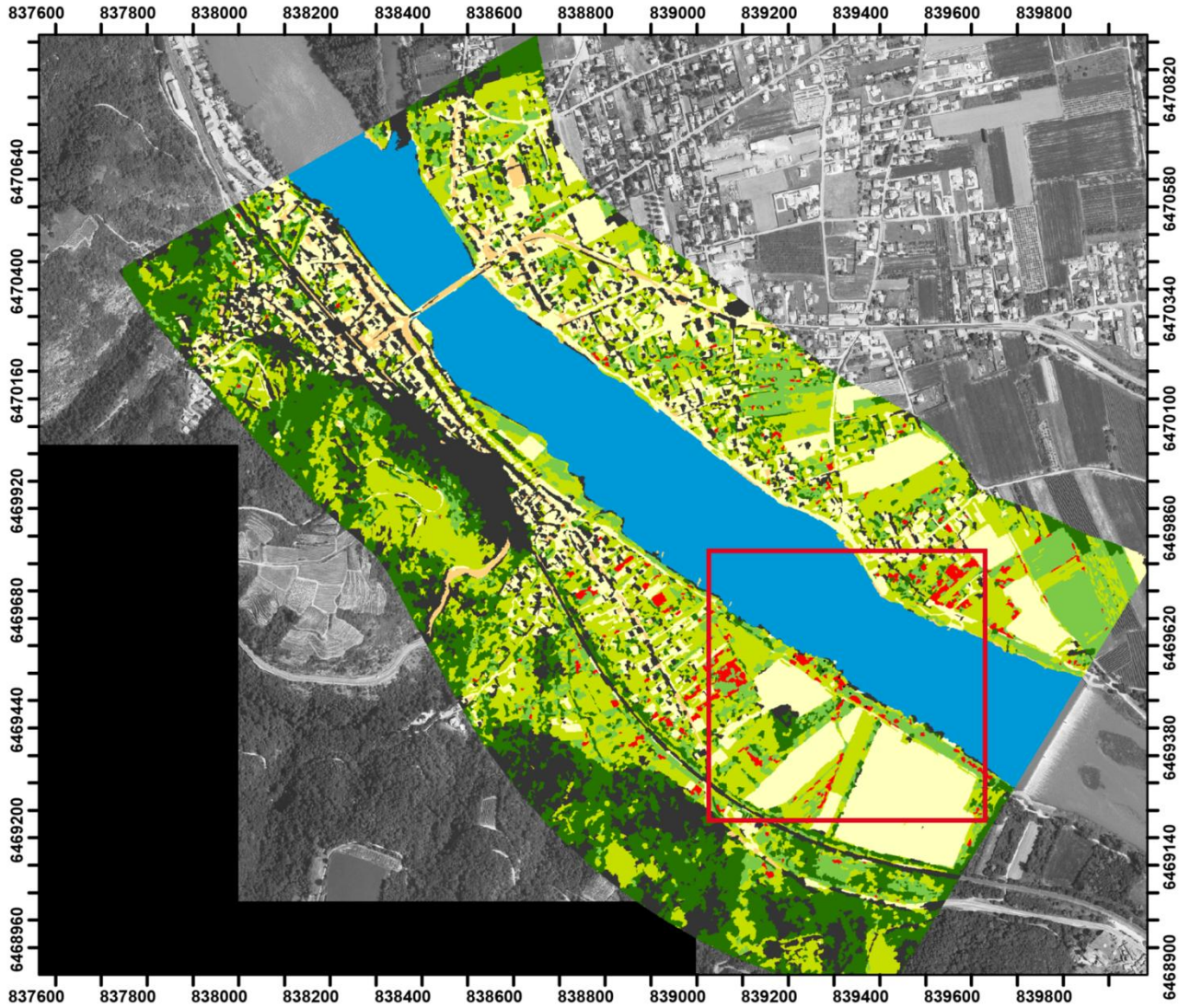


Classification de la commune de Serrières issue de la BD ortho IRC



- Eau
- Ombre
- Rénouée asiatique
- Sol imperméable
- Sol nu
- Végétation clairsemée
- Végétation ombragée
- Végétation dense

Classification de la commune de Serrières issue des images brutes IRC de l'IGN



- Cours d'eau
- Ombre
- Renouée asiatique
- Sol imperméabilisé
- Sol nu
- Végétation dense
- Végétation ombragée
- végétation clairsemée