



# Industrialisation des processus d'extraction d'objets à partir de données photogrammétriques par drones

■ Jérémie BROSSARD

*La photogrammétrie aérienne par drones permet aujourd'hui à SNCF de réaliser des opérations de surveillance du Réseau Ferré National sans perturber l'exploitation ferroviaire. Les méthodes d'acquisition par aéronef télépiloté étant maîtrisées, ce travail se concentre sur la mise en place d'algorithmes permettant l'extraction d'objets sur la base de livrables photogrammétriques. Après avoir réalisé une étude pour valider la qualité des orthophotos (supports permettant l'identification et la caractérisation d'objets) nous avons développé un algorithme d'extraction automatique de rails. Ce programme a été scindé en 3 blocs distincts : le découpage de l'orthophoto selon l'emprise de l'étude, sa segmentation en bandes régulières et enfin l'extraction automatique des rails. L'analyse qualitative et quantitative a démontré que l'outil développé répond aux exigences de précision requises par SNCF. Sur la base de la méthode déployée durant ce projet, SNCF Réseau pourra développer de nouveaux outils permettant l'automatisation de la caractérisation de l'environnement ferroviaire.*

## ■ MOTS-CLÉS

SNCF Réseau, drones, photogrammétrie, orthophotos, développement, rails, extraction, précision, classification

démarré dans le cadre d'un projet de recherche technologique qui consistait à déterminer la position des rails à partir de nuages de points 3D lasergrammétriques. Bien que fonctionnelle, cette méthodologie d'extraction, fondée sur l'utilisation de l'information d'intensité du signal retour, ne peut être appliquée lors de l'utilisation de nuages de points photogrammétriques (les points ne disposant pas de cette information). Face à une demande croissante en termes de production, il est nécessaire d'industrialiser des procédés d'extraction d'objets et plus particulièrement la digitalisation des rails. Il s'agit de réduire le temps d'établissement du livrable tout en garantissant une restitution de qualité. En effet, lors de la réalisation d'un projet, plus de 60 % du temps est consacré à l'élaboration du livrable.

Afin de permettre l'industrialisation des processus d'extraction mais également d'uniformiser les outils et les méthodes, il est nécessaire d'établir une stratégie de développement intégrant les paramètres suivants :

- une capacité à traiter d'importants volumes de données afin de rendre la méthode éligible pour de grands linéaires ;
- des durées de traitement minimales afin de rendre l'extraction automatique plus efficace que l'extraction manuelle ;
- une capacité à intégrer des données de sources hétérogènes (échelles, taille de pixel objet, bandes spectrales, etc.).

La prise en compte de ces trois paramètres doit permettre la réalisation d'un gain de performance conséquent et d'ainsi valider l'intérêt des méthodes d'extraction automatique.

Les performances opérationnelles doivent être élevées pour des traitements automatiques, que ce soit en

## Introduction

La Société nationale des chemins de fer français (SNCF) gère 33 000 kilomètres de lignes ferroviaires sur l'ensemble du territoire comprenant de nombreuses infrastructures. Afin d'assurer la sécurité, la disponibilité et la fiabilité du réseau, une surveillance et une maintenance régulières sont de rigueur. La politique d'innovation et de recherche de SNCF a permis de développer de nombreux systèmes d'acquisitions tels que des trains de mesures ou des capteurs déposés sur les installations capables de caractériser précisément l'état du réseau. Ces systèmes permettent de minimiser la mobilisation de ressources humaines pour la réalisation des diagnostics réduisant ainsi les contraintes sécuritaires et économiques. SNCF Réseau déploie également depuis plus de deux ans des drones dans le cadre d'opérations de surveillance et de maintenance. Leur aptitude à réaliser des acquisitions de manière non intrusive et non capacitaire leur permet d'intervenir

en environnements complexes (difficiles d'accès, voire inaccessibles). Ces aéronefs télépilotés, déployés par le Pôle Drones, sont équipés d'un large panel de capteurs (LiDAR, photo, multi-spectral, etc.) permettant de répondre aux besoins et aux exigences de surveillance du Réseau Ferré National (RFN). Pour réaliser des relevés topographiques de sites exploités, le Pôle Drones effectue des acquisitions photogrammétriques par aéronef télépiloté. Une fois les données acquises, les plans topographiques sont produits par restitution photogrammétrique par des opérateurs expérimentés. En effet, la chaîne de traitements mise en place permet d'obtenir un nuage de points photogrammétrique ou un Modèle Numérique de Surface (MNS) et une orthophoto, données d'entrée indispensables à l'élaboration de plans.

L'étude qui m'a été confiée s'inscrit dans un large projet visant l'automatisation de l'extraction de données ferroviaires acquises par photogrammétrie ou lasergrammétrie. Mes travaux ont ainsi



► termes de qualité de l'information produite (exactitude de l'information, éviter les faux positifs) que de rapidité. Dans cette optique, mon travail doit permettre d'optimiser les traitements de données pour limiter les durées de traitement et d'éliminer une partie des tâches redondantes et à faible valeur ajoutée telles que le report des voies, caténares, et autres objets ferroviaires.

## Choix de l'objet et complexité

Bien que l'ensemble du réseau admette des classes d'objets homogènes, le mobilier ferroviaire a évolué au cours des années (certaines lignes présentent des éléments centenaires) ce qui implique une grande hétérogénéité des objets. Il semble donc difficile d'envisager l'automatisation complète de l'extraction du "mobilier" ferroviaire. Pour l'ensemble des projets réalisés, la digitalisation des rails est effectuée par un opérateur. Cette étape demandant une certaine rigueur, cela implique un temps de réalisation important. Avant de se lancer dans la recherche de cet élément nous nous sommes intéressés à ses caractéristiques : les rails sont posés en fonction du trafic circulant sur la ligne (type de train, tonnage...), il existe donc différents types de rails disposant de caractéristiques distinctes comme nous pouvons le constater dans la *Figure 1*. En complément des différences géométriques, ils font également l'objet de différences radiométriques produites par la fréquence des circulations. Néanmoins, malgré cette hétérogénéité, les rails présentent des caractéristiques géométriques complémentaires (écartement égal à 1,435 mètre, parallélisme des files de rail...) permettant d'envisager l'automatisation de l'extraction de leur position.

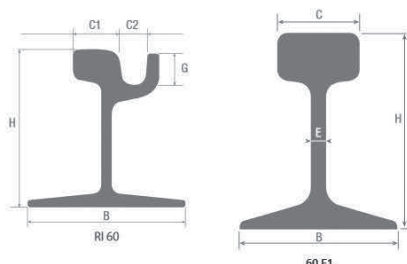


Figure 1. Exemple de différent type de rails

## Données mises à disposition

À partir des données photogrammétriques acquises nous pouvons utiliser trois types de données : les photographies brutes, le nuage de points et l'orthophoto. Au cours du projet de recherche technologique nous avons constaté l'impossibilité d'utiliser directement le nuage de points photogrammétriques pour l'extraction automatique des voies en raison d'un lissage des données au niveau du champignon du rail interdisant la distinction précise du profil du rail.

Fort de ce constat nous nous sommes donc tournés vers l'utilisation des photographies brutes et des orthophotos qui permettent une distinction visuelle aisée de la position des voies. Bien que simples d'utilisation ces deux sources de données d'entrée présentent différents avantages et inconvénients que nous présentons ci-après :

Les photos brutes étant géoréférencées avec une précision métrique (utilisation de la position brute du cliché obtenue à l'aide du capteur GNSS du drone) et non corrigées de leurs distorsions, leur utilisation pour extraire la position précise des rails dans le système de coordonnées souhaité est complexe. En effet, des traitements photogrammétriques devraient être directement appliqués sur les images (et donc développés) afin de disposer de données exploitables ce qui n'était pas l'objet de mon projet de fin d'études. L'orthophoto est, quant à elle, plus appropriée pour extraire directement des données géoréférencées. Néanmoins, au regard de la taille des fichiers à traiter (plusieurs centaines de Mo voir plusieurs Go), il est nécessaire de segmenter les orthophotos



Figure 2. Discontinuité du rail

avant toute opération d'extraction automatique. Cependant lors de l'utilisation d'orthophotos, des problèmes de continuité d'objets (léger décalage au niveau du rail malgré l'application de corrections géométriques et radiométriques) peuvent être observés. De plus la création d'artefacts (projection des poteaux caténares sur l'image, etc.) peut induire de fausses détections pouvant impacter la qualité de l'extraction automatique.

## Étude de la donnée d'entrée

L'extraction automatique d'informations n'est pertinente que si elle est fondée sur l'exploitation de données de qualité (en précision et résolution). On distingue deux types d'erreurs pouvant affecter la qualité des données : d'une part les erreurs qui interviennent au moment de l'acquisition, et d'autre part celles issues des traitements informatiques.

Un bilan des erreurs potentielles a été dressé à partir des caractéristiques des deux drones utilisés (*Delair Tech DT18* et *Ascending Technology Falcon 8*). Les constructeurs ne spécifiant pas en détails les composants embarqués (GNSS, accéléromètre, capteur...) il est complexe de mener à bien un bilan des erreurs *a priori*. Nous pouvons uniquement réaliser une liste non exhaustive de ces erreurs : les erreurs liées au système GNSS, à l'accéléromètre, à l'IMU au tube de pitot, à la nacelle stabilisatrice et à la caméra.

Malgré la prépondérance des erreurs matérielles il ne faut pas oublier les paramètres qui influencent les traitements photogrammétriques. En effet le recouvrement des clichés est primordial afin de pouvoir associer les différentes photographies. De plus les réglages du capteur et les conditions de prise de vue (ombres portées...) peuvent générer des différences radiométriques entre les photographies acquises. Il est difficile d'obtenir une radiométrie identique entre deux clichés ou bien entre deux lignes de vols. C'est pourquoi il est indispensable de bien paramétrer les capteurs et de redonder au maximum les acquisitions.



Le GNSS intégré dans le drone présente une précision métrique, ce qui impose la mise en place de points d'appui pour assurer un géoréférencement de qualité et éviter toute déformation du modèle photogrammétrique produit.

Comme l'a démontré [Pereira 2015], la disposition ainsi que le nombre de points d'appui (GCP) influencent le géoréférencement du projet, il est donc nécessaire d'avoir un nombre de points suffisants ainsi qu'un positionnement de points d'appui en quinconce pour obtenir des résultats pertinents. Il existe deux types de configuration pour la mise en place des points d'appui afin de répondre aux exigences du client ; une disposition linéaire présentée dans la *Figure 3* et une disposition surfacique représentée dans la *Figure 4*.

Enfin, l'angle de prise de vue influe sur la représentation de l'objet ainsi que les ombres portées pouvant créer des aberrations. La combinaison de prises de vues nadirales et obliques permet d'améliorer la modélisation des objets ainsi que la précision des données photogrammétriques. Cependant, *a contrario*, cela augmente le temps d'acquisition.

Bien évidemment au cours du traitement photogrammétrique, les erreurs impactant l'acquisition se propagent dans les différentes étapes de traitement telles que l'aérotriangulation, la détection des points homologues, la compensation par les faisceaux, la génération du modèle numérique de surface (MNS) et la création de l'orthophoto. N'ayant pas accès aux algorithmes utilisés il m'était impos-

sible de réaliser une transmission d'erreurs généralisée.

L'ensemble des orthophotos produites présente une résolution de 1 à 2 cm permettant ainsi de distinguer tous les objets que l'on souhaite identifier. De plus les orthophotos admettent une précision absolue de l'ordre de 3 cm, selon les travaux de [Pereira 2015]. Les livrables répondent donc aux attentes de la SNCF qui demande une précision absolue de 5 cm (lors de la réalisation de mesures par photogrammétrie aérienne). Bien que les données admettent des disparités radiométriques et géométriques, elles présentent une très bonne résolution et précision, permettant ainsi de distinguer les rails correctement. Nous pouvons donc les utiliser afin de réaliser l'extraction automatique de rails.

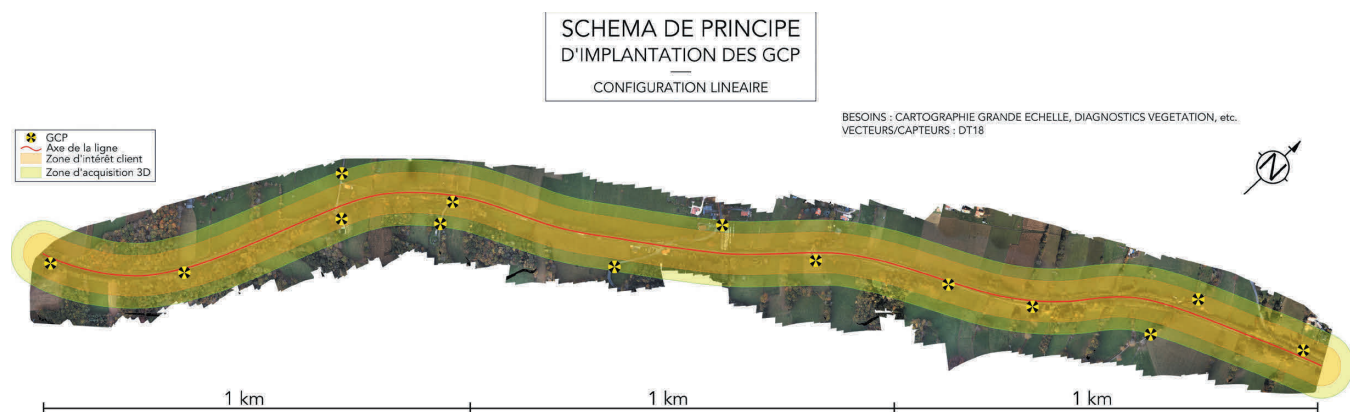


Figure 3. Schéma de principe d'implantation des points d'appuis pour une configuration linéaire

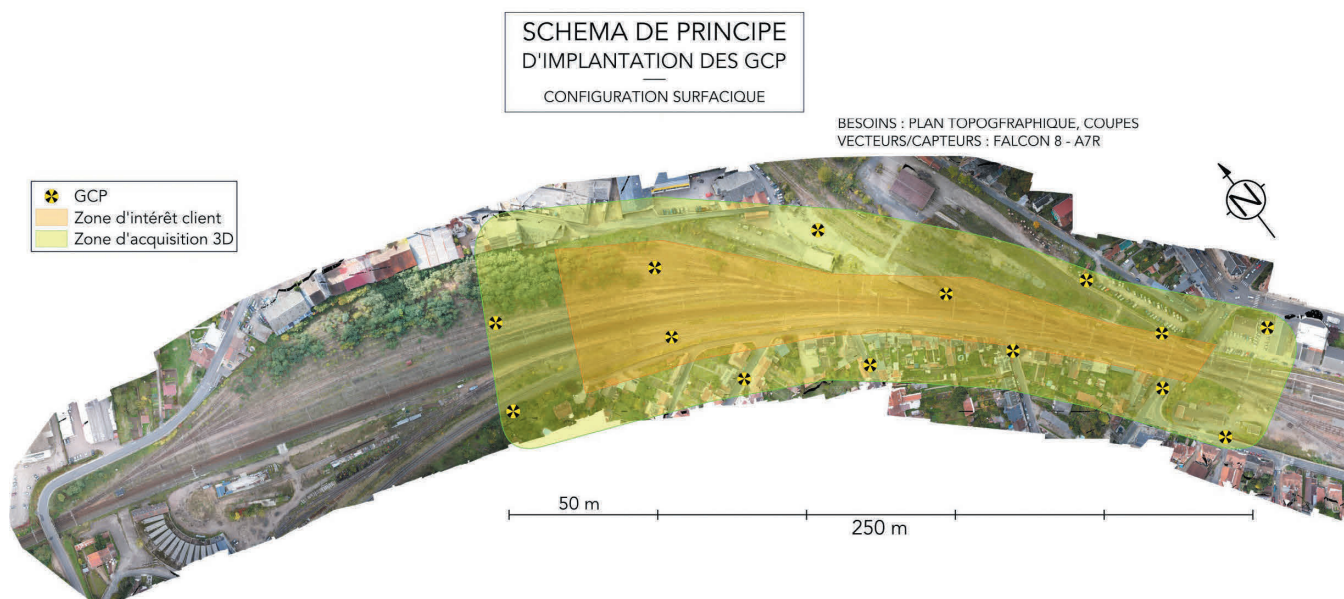


Figure 4. Schéma de principe d'implantation des points d'appuis pour une configuration surfacique

## ► Développement d'une méthode d'extraction automatique de rails

Travaillant sur du traitement d'images j'ai utilisé le logiciel Halcon qui est doté d'un environnement de développement intégré (IDE) dédié à la vision assistée par ordinateur (computer vision). En effet il intègre un grand nombre de fonctionnalités et d'algorithmes pré-implémentés facilitant la prise en main. De plus il est doté d'une fonction permettant d'exporter le code écrit sous l'IDE dans les langages C et C++ facilitant l'interfaçage avec d'autres outils.

## Découpage de l'orthophoto

Afin de faciliter le traitement des données, un besoin de découpage automatique des orthophotos a été mis en évidence (réduction des temps de traitement, gestion des données, etc.). Au-delà de l'aspect de gestion des données, cette fonctionnalité permet de supprimer les zones ne nécessitant aucun traitement mais aussi les zones présentant des imperfections et/ou des artefacts.

La première étape est la génération de l'emprise du projet au format DXF dans le même système de coordonnées que celui de l'orthophoto. Puis nous réalisons une intersection entre l'emprise de l'orthophoto et celle du projet. Nous gardons uniquement la zone souhaitée qui permet de créer un nouveau fichier .TIF. La nouvelle image créée est associée à son nouveau fichier TFW qui a été calculé à partir des différences de coordonnées des coins supérieurs gauches de l'image d'origine et de sa

résultante. Cet algorithme peut être utilisé en batch processing, c'est-à-dire que nous pouvons choisir une liste de fichiers pour une seule emprise et celui-ci traitera les fichiers les uns après les autres et terminera les calculs quand l'ensemble des fichiers sera traité.

## Segmentation de l'orthophoto et de la base de données RGI

Pour que l'algorithme soit performant et qu'il respecte les contraintes des courbes il est nécessaire que l'orientation de la voie ne varie pas pour pouvoir utiliser des portions de voies rectilignes. Les voies ferrées présentent des courbes à très grand rayon (plusieurs centaines de mètres), nous pouvons donc admettre qu'une portion de 10 mètres en courbe peut être approximée comme une portion rectiligne. Pour respecter ces critères nous devons segmenter l'orthophoto.

De plus l'utilisation d'une partition régulière de l'orthophoto permet de paralléliser les tâches et ainsi diminuer les temps de traitement.

Après les premiers tests réalisés, nous avons constaté que le filtre géométrique le plus performant était un filtre basé sur l'orientation des lignes. Pour rendre le processus le plus automatique possible, nous avons mis en place une méthode utilisant des fichiers de références externes qui constituent le Répertoire Géographique d'Infrastructure (RGI). Le RGI répertorie toutes les voies et infrastructures ferroviaires présentes sur le RFN. Cette base de données répertorie l'ensemble des voies par le biais d'une polyligne 3D représentant l'axe de la plate-forme

ferroviaire. Celle-ci permet de disposer de l'orientation approximative des voies.

Cette étape permet l'extraction des Points Kilométriques (PK) indispensables au ferro-référencement des données (Ligne, Voie, PK), mais également l'extraction de la portion de polyligne 2D représentant la voie (utile à la définition de l'orientation des voies). Bien qu'extraite à titre indicatif, en raison de l'imprécision du RGI (précision comprise entre 10 et 40 mètres en planimétrie), l'orientation de cette portion de ligne facilite les travaux d'extraction automatique du rail.

Pour réaliser cette étape nous superposons les données vecteur à l'emprise de l'orthophoto et par intersection de ces informations nous sélectionnons uniquement les données souhaitées. Cet algorithme permet de préparer l'extraction automatique de rails mais il permet aussi de répondre à d'autres besoins car il rend possible la segmentation précise des orthophotos, segmentation pouvant être utile pour la création ou la diffusion de bases de données.

## Extraction automatique de rails

La première étape réalisée par l'opérateur est le renseignement des répertoires des bandes, des fichiers TFW, des portions de voies segmentées et enfin le répertoire des résultats. Il doit aussi renseigner la distance choisie pour la réalisation des bandes.

A partir du fichier TFW nous déterminons les paramètres de la transformation permettant de superposer les

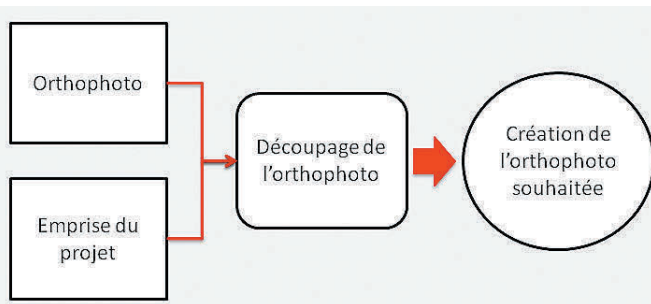


Figure 5. Schéma de principe pour découper l'orthophoto

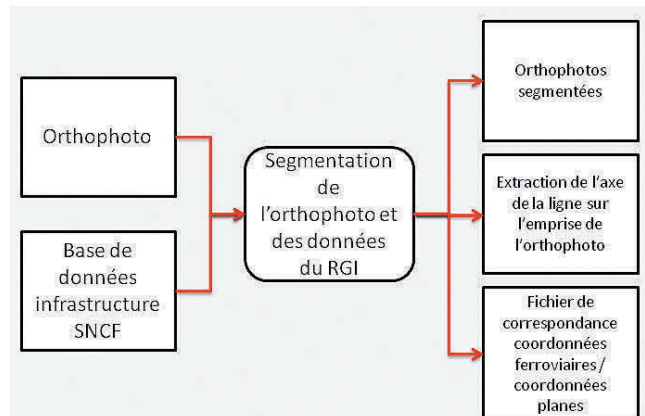


Figure 6. Synoptique de la segmentation de l'orthophoto et de la base de données du RGI

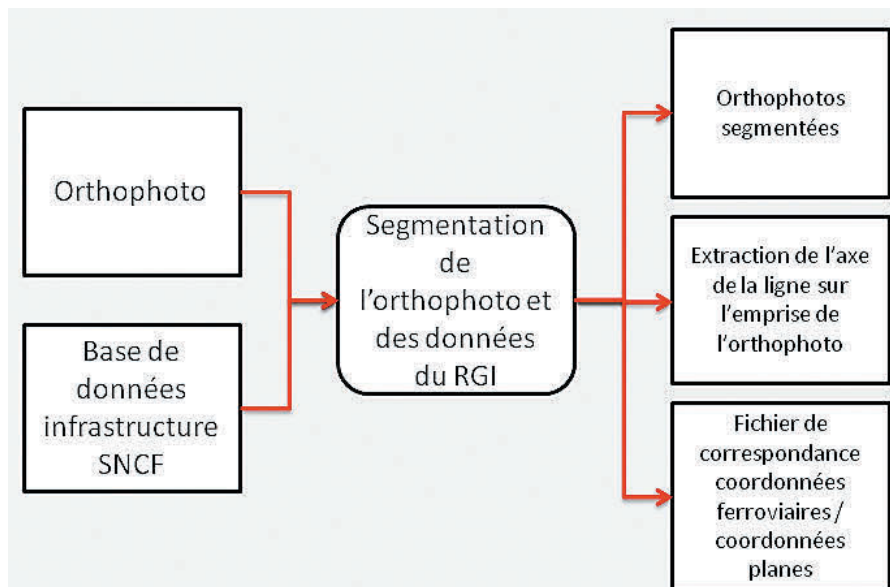


Figure 7. Procédure d'extraction automatique de rails

différentes données. Nous récupérons la taille du pixel qui permet de convertir les paramètres définis de mètres en pixels.

Afin de réduire les fausses détections mais aussi d'améliorer la qualité de l'algorithme nous avons décidé de réduire notre zone d'étude en filtrant les zones d'ombres.

En se basant sur l'article de [Singh et al., 2012] nous pouvons utiliser l'indice du NDI permettant de segmenter les zones d'ombres. L'utilisation de l'image dans l'espace HSV (Hue-Saturation-Value) permet de mettre en évidence les zones d'ombres qui ont différentes propriétés spectrales :

- la couleur noire a la plus forte valeur de teinte ;
- une faible valeur de luminance en raison de l'occultation de l'objet à la trajectoire directe des rayons provenant du soleil ;
- une forte saturation en raison des longueurs d'ondes bleu-violet liées à la diffusion atmosphérique de Rayleigh.

Pour calculer l'indice nous utilisons la formule :

$$NDI = \frac{(S - V)}{(S + V)}$$

Après avoir distribué les valeurs calculées entre 0 et 255 nous réalisons un seuillage sur l'image binaire en isolant les pixels ayant une valeur égale à 1.

La création d'un masque de l'ombre présente sur la photo permet de diminuer les fausses détections. Après plusieurs tests sur différentes orthophotos, nous avons conclu que cet indice ne permettait pas de sélectionner la totalité des ombres portées mais que les ombres portées détectées sont identifiées avec une grande robustesse. Cela signifie que l'utilisation d'un tel indice n'engendre pas de perte d'information et permet de pallier en partie à la problématique des ombres portées, problème récurrent en photogrammétrie. Dans un futur proche il serait intéressant de mettre en place un algorithme permettant de corriger le problème des ombres portées sans devoir les supprimer (cf. Figure 8).



Figure 8. Détection des zones d'ombres (en rouge) (sans échelle)

Nous entreprenons maintenant la conversion de l'image RGB en niveaux de gris. Suite à la génération de l'élément structurant nous pouvons réaliser le chapeau de haut de forme sur l'image en niveaux de gris afin de réaliser une première segmentation et faire ressortir le contraste des rails présenté dans la Figure 9.

Une analyse en composantes principales réalisée sur les 3 canaux de l'image (RGB) permet d'analyser les données à partir des statistiques multivariées. Cela consiste à transformer les variables corrélées en nouvelles variables décorréées. Cet algorithme permet de réduire le nombre de variables en les rendant moins redondantes. Cette méthode permet de répertorier les éléments identiques dans l'image en les caractérisant par des couleurs spécifiques.

La détection des contours est réalisée par les filtres de Canny sur l'image brute, l'image résultante de l'analyse en composantes principales, l'image en niveaux gris et l'image résultante du Top Hat. Une seconde détection est réalisée uniquement sur le Top Hat en utilisant un filtre de Gauss. La combinaison de l'ensemble des détections sur les différentes images permet d'obtenir une redondance et une robustesse sur les différents contours extraits. Lors des différentes détections de contours, nous avons pu identifier et extraire de façon robuste l'axe et les bords extérieurs des rails.

Les contours extraits sont concaténés dans un seul objet (cf. Figure 10) pour faciliter leurs traitements mais aussi la gestion des variables.

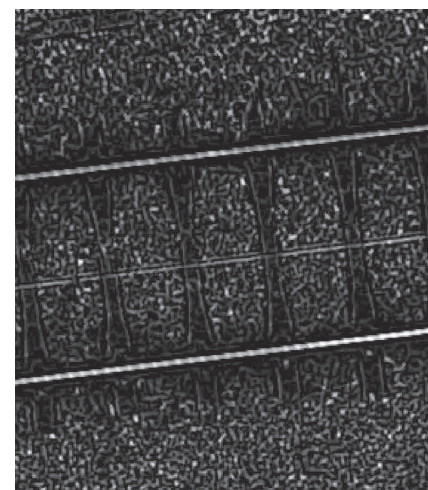
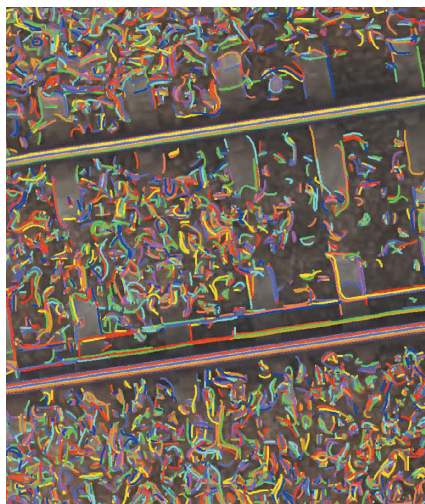


Figure 9. Top Hat (sans échelle)

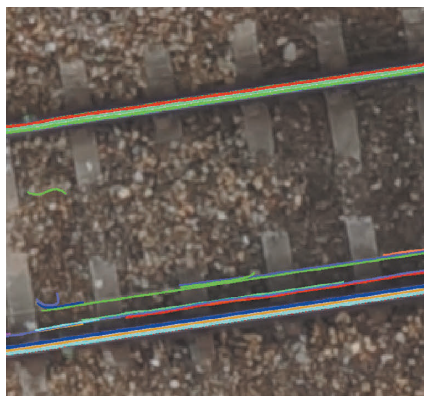


**Figure 10.** Ensemble des contours concaténés (sans échelle)



Dans cet algorithme nous prenons en compte la possibilité de présence de plusieurs voies sur une orthophoto. Pour chaque voie les changements de direction potentiels sont aussi considérés. Nous calculons donc toutes les orientations possibles sur la portion de voie et nous gardons la valeur minimale et maximale afin d'assurer l'extraction correcte des files de rails. Pour chaque voie et chaque orientation nous réalisons des filtres selon l'orientation avec un intervalle de confiance de 5 degrés pour ne pas supprimer d'information.

Après avoir filtré les contours, nous avons réalisé une dilatation pour avoir des zones communes entre les différentes lignes pour pouvoir les connecter. Suite à cela nous réalisons une fermeture pour combler les trous présents suivie d'une ouverture pour supprimer les petits éléments résiduels



**Figure 11.** Contours filtrés (sans échelle)

autour des rails. A partir de cela nous pouvons extraire le squelette afin de déterminer l'axe médian de la région. Ces lignes sont de nouveau filtrées selon leurs orientations et selon leur taille minimale.

Pour chaque ligne, nous projetons le point de départ et le point de fin sur les différentes lignes afin d'en calculer la distance. Cette distance est analysée et répertoriée dans l'un des trois intervalles prédéfinis ; si la distance est inférieure ou supérieure aux classes prédéfinies les lignes ne sont pas retenues. Nous sélectionnons les différentes lignes (cf. Figure 11) et les regroupons dans leurs classes dédiées. Après avoir classé les lignes nous devons réaliser des profils en travers tous les 10 mètres afin d'avoir des points à intervalle régulier dans le but de réaliser des plans topographiques. Nous calculons une boîte englobante de l'ensemble des objets et nous déterminons son centre ainsi que son orientation. À partir de ce point central



**Figure 12.** Files de rails détectées (sans échelle)

nous calculons les différents points de passage des lignes de coupes. Enfin nous réalisons l'intersection de chaque ligne avec chaque droite de coupe permettant d'extraire les points automatiquement et de les exporter dans un fichier .txt colonné. La Figure 12 présente le résultat obtenu.

## Analyse des résultats

Après avoir extrait les rails, il convient de s'intéresser à la précision des résultats obtenus. Dans un premier temps nous avons observé visuellement les résultats en superposant les points extraits à l'orthophoto. Lors de cette analyse qualitative nous avons pu constater une répartition homogène des points extraits sur les rails malgré la présence de quelques fautes résiduelles. Ainsi, afin de valider l'automatisation du processus, une étude comparative entre différents jeux de données a été effectuée.



**Figure 13.** Superposition du nuage de points extrait avec l'orthophoto



## Analyse de précision ciblée

Afin de valider l'automatisation du processus, une étude comparative entre un relevé topographique traditionnel (par tachéométrie), considéré comme la référence et donc la valeur vraie, et l'extraction automatique de rails a été mise en œuvre.

L'analyse a été menée sur une courte portion de rails (18 mètres) afin d'évaluer en détail l'extraction effectuée et d'identifier les éventuelles ondulations des polygones automatiques produites. Afin d'avoir un échantillon conséquent (plus de 200 points par rail), nous avons créé des profils en travers tous les 15 cm sur chaque jeu de données pour extraire chaque point du rail afin de réaliser notre analyse.

L'extraction des deux rails permet de déterminer l'écartement de la voie (d'une valeur théorique de 1.50 m). Pour étudier l'écartement de celle-ci, nous calculons la distance entre deux points sur les différentes coupes perpendiculaires aux rails, répertoriée dans le *Tableau 1*. On considère le levé tachéométrique comme valeur de référence, c'est-à-dire comme la valeur vraie.

On remarque un écart maximum de 4 cm sur l'écartement entre deux voies, provenant de l'extraction automatique. Une différence de 5 mm sur la moyenne est présente entre l'extraction automatique et les autres jeux de données. L'écart-type est quant à lui très faible, de l'ordre du centimètre. Lors de la création du squelette permettant de créer l'axe médian, la détection automatique peut être perturbée par la présence de différentes ombres portées ou de différences importantes de contraste. L'extraction du rail est alors "déviée" de l'axe du rail. L'opérateur devra donc

	Référence (Levé topographique)	Digitalisation	Extraction automatique
Min (m)	1.500	1.500	1.492
Max (m)	1.509	1.510	1.539
Moyenne (m)	<b>1.503</b>	<b>1.503</b>	<b>1.508</b>
Ecart-type (m)	<b>0.003</b>	<b>0.002</b>	<b>0.009</b>

Tableau 1. Distance d'écartement entre deux rails

	Référence / Digitalisation	Référence / Extraction automatique	Digitalisation / Extraction automatique
Min (cm)	0.0	0.0	0.0
Max (cm)	2.3	3.4	3.0
Moyenne (cm)	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>
Ecart-type (cm)	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>

Tableau 2. Comparaison planimétrique des nuages de points

assurer un contrôle des points extraits pour identifier et supprimer toutes les fautes liées à l'extraction automatique (fautes rapidement identifiables).

La qualité de l'extraction étant validée nous pouvons nous consacrer à la comparaison des différents nuages de points afin de mettre en évidence l'exactitude de la digitalisation et de l'extraction automatique présentée dans le *Tableau 2*.

Au cours de cette étude nous avons pu mettre en évidence la précision de la digitalisation manuelle. L'extraction automatique et manuelle sont de précision sensiblement équivalente, ce qui valide à nouveau les algorithmes développés. Malgré la qualité des résultats, certaines extractions fournissent des résultats erronés. Un contrôle visuel des données extraites devra donc toujours être effectué par l'opérateur. Cette procédure de contrôle, indispensable avant toute livraison de plans topographiques, ne viendra pas péjorer les durées de fourniture de livrables.

Cette étude permet de valider l'utilisation d'une procédure d'extraction automatique de rails. En effet, nous obtenons une distance entre les deux rails conforme aux tolérances de SNCF. Concernant le positionnement absolu du rail, nous avons obtenu une précision inférieure à 1 cm. Nous pouvons

en conclure que la méthode répond au cahier des charges fixé.

## Analyse d'un grand linéaire

Pour valider le caractère industriel de l'algorithme une étude a été réalisée sur un linéaire important (plus de 600 mètres de long). Pour cette comparaison nous disposons de la digitalisation réalisée manuellement et des points extraits automatiquement. Dans un premier temps nous allons nous intéresser au nombre de points extraits par l'algorithme : nous obtenons 2 380 points.

Bien que l'algorithme présente visuellement de bons résultats nous devons réaliser un premier tri manuel pour éliminer les fausses détections. Ces fausses détections sont présentes aux abords des voies en raison de la diversité des objets présents (bordure de trottoir, fil électrique, voiture, etc.). Il est à noter que certaines fausses détections sont aussi présentes sur les voies en raison de la présence de quais, appareils de voie et autres caténaires qui peuvent masquer partiellement les rails et rendre complexe l'extraction. Suite à cette étape nous obtenons un total de 906 points que nous pouvons comparer aux 1 206 points extraits manuellement. L'algorithme extrait donc automatiquement 75 % des points. Les 25 % des points non extraits proviennent de la non-détection de rail due à une absence de contraste significatif. Ne disposant pas de données acquises à l'aide d'un relevé tachéométrique sur la zone nous avons uniquement réalisé une comparaison entre digitalisation et extraction automatique présentée dans le *Tableau 3*. Il est néanmoins à



noter qu'une étude entre digitalisation et mesure tachéométrique a été réalisée par les équipes SNCF (étude interne) et a permis de valider la qualité et la précision de la digitalisation.

	Digitalisation/ Extraction automatique
Min (cm)	0.1
Max (cm)	20.2
Moyenne (cm)	1.5
Écart-type (cm)	2.0

Tableau 3. Comparaison planimétrique des nuages de points

Après avoir comparé les 906 points, nous pouvons observer que 95 % des écarts planimétriques se situent entre 0 et 5 centimètres.

## Identification des erreurs

Pour identifier les erreurs nous avons réalisé plusieurs zooms sur des zones (Figure 13) présentant des écarts importants par rapport aux points de la digitalisation.

Nous observons les plus grands écarts au niveau des appareils de voie. Ces écarts sont causés par la "surabon-

dance" de files de rails (2 files de rails pour chaque direction possible de l'appareil de voie). L'algorithme est donc perturbé par les éléments connexes (contre-rail, aiguille), ce qui implique une vigilance accrue lors de l'exploitation des données.

## Analyse du temps de traitement

Lors de la création de devis, nous estimons la durée de traitement nécessaire à la confection des livrables. Cette durée est segmentée en deux catégories, le temps machine (à faible coût) et le temps homme (à coût important). Nous nous inscrivons ici dans un modèle économique où le temps de traitement doit être le plus court possible, en minimisant le nombre d'interventions récurrentes pour l'opérateur (réduction du coût de production). L'opérateur doit simplement effectuer un contrôle des données pour assurer la qualité des livrables et ainsi obtenir un gain de productivité important.

L'ensemble des tests a été réalisé sur une seule station de travail afin de pouvoir comparer les différents traitements. Les temps de calculs présentés dans le Tableau 4 sont donc fournis à titre indicatif et pourront varier en fonction des configurations machine.

Dans un premier temps nous avons réalisé l'ensemble des traitements manuellement (extraction des rails sur les orthophotos). 4 heures et 15 minutes ont été nécessaires pour finaliser les travaux. *A contrario* lors de l'utilisation des processus semi-automatiques développés 1 heure et 15 min uniquement ont été nécessaires. Au vu des résultats obtenus nous constatons un gain de productivité de l'ordre de 70 % pour l'entreprise.

Les temps de traitements informatiques sont très difficiles à évaluer car le temps de traitement dépend de la taille du fichier utilisé, des différents traitements réalisés, de l'architecture et des composants de la station de travail. Ces temps de traitements ne suivent pas de loi linéaire et peuvent donc varier grandement.

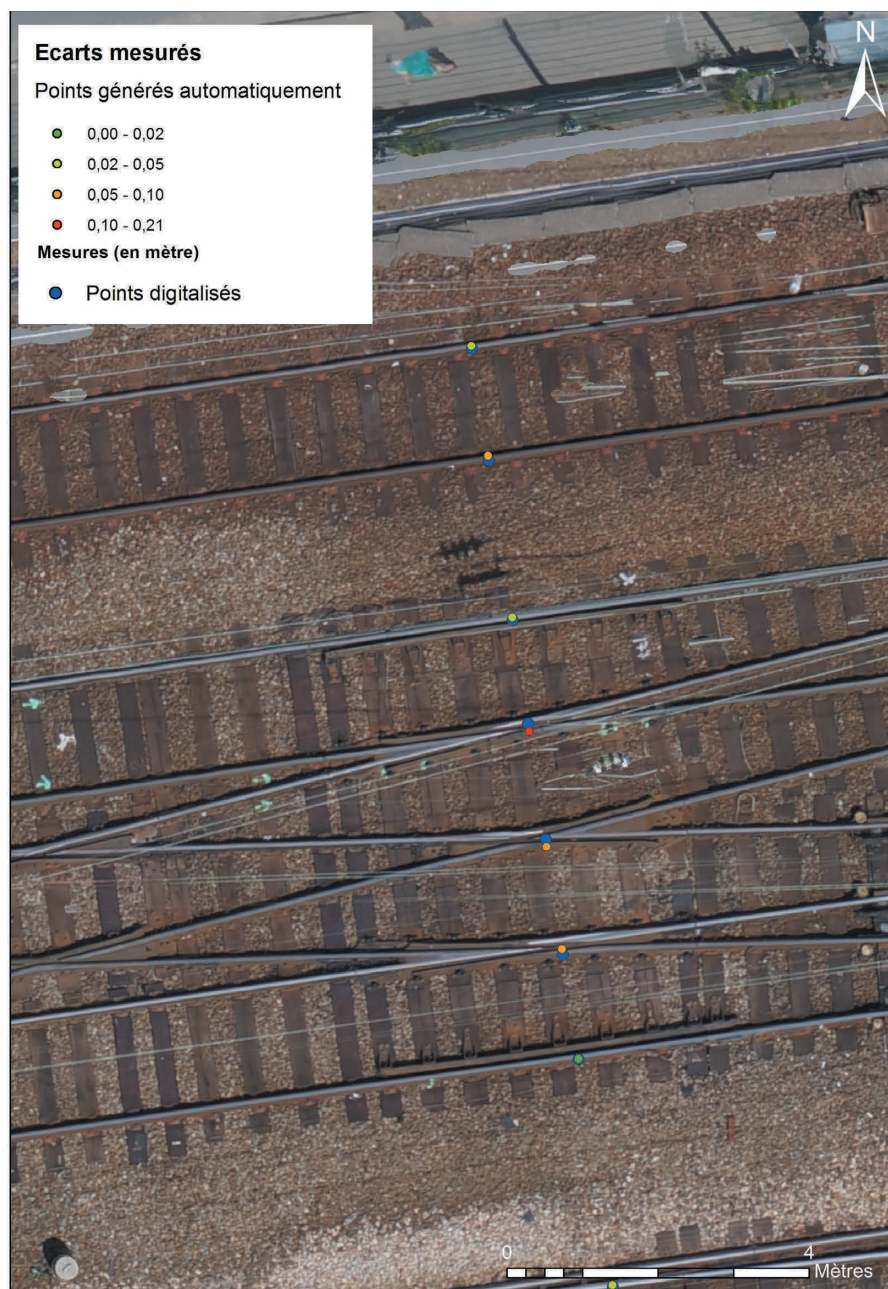


Figure 14. Identification des problèmes résiduels





Temps de traitement	Découpage de l'orthophoto	Création de bandes	Extraction de rails
Opération manuelle	30 minutes	45 minutes	3 heures
Processus Semi-automatique	5 minutes + 80 secondes	130 secondes	5 minutes et 30 secondes + 1 heure

**Tableau 4.** Comparaison des temps de traitements (en rouge les traitements automatiques)

## Conclusion et perspective

Compte tenu des résultats obtenus nous pouvons affirmer que la chaîne de traitements semi-automatique permet d'industrialiser les procédés d'extraction d'objets. Bien que nous obtenions de très bons résultats, il est nécessaire de réaliser un contrôle des résultats fournis. Nous constatons un gain de productivité important tout en respectant la précision attendue par SNCF. Cette solution fonctionnelle est opérationnelle et permet ainsi d'engendrer des gains techniques, opérationnels et économiques. La semi-automatisation de l'extraction de rails permet à l'opérateur de passer plus de temps sur les contrôles et ainsi accroître la qualité du livrable.

Bien que les résultats soient de qualité, un travail d'optimisation sera entrepris pour rendre l'algorithme plus robuste afin de détecter l'ensemble des voies à l'aide d'algorithmes complémentaires basés sur de la classification. Dans la continuité le souhait d'obtenir des points en 3 dimensions pourrait être établi en utilisant le MNS raster. Enfin la création d'une interface graphique autonome permettra de simplifier l'utilisation de ces développements. ●

## Contact

Jérémy BROSSARD  
brossard.jeremie@gmail.com

## Bibliographie

[Arastounia, 2012] Arastounia, M., (2012). *Automatic Classification of Lidar point clouds in a railway environment*, Master thesis of Science in Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente, 74p.

[Benito, 2012] Benito, D.D., (2012). *Automatic 3D modelling of train rails in a lidar point cloud*. Master thesis of Science in Geo-information Science and Earth Observation, university of Twente, 46p.

[Beucher, 2014] Beucher, S., (2014). *Support de cours, Segmentation d'images et morphologie mathématique*, Cours du Master OIV, St Etienne.

[Canny, 1987] Canny, J., (2017). "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence ; PAMI-8, vol. 6, pp. 679-698.

[Corsino Espino, 2014] Corsino Espino, J., (2014). *Détection de rails, caractérisation de croisements et localisation de trains sur la trajectoire d'un métro automatique*. Thèse de doctorat École des Mines de Paris, 39-133p.

[Elberink et al., 2015] Elberink, S., Khoshelham, K., (2015). *Automatic Extraction of Railroad Centerlines from Mobile Laser Scanning Data*. Remote Sensing, vol. 7, no 5, pp.5565-5583.

[Halcon, 2016] @Halcon(2016). URL : <http://www.halcon.com>.

[Landes et al., 2015] Landes, T. et Roupioz, L., (2015). *Support de cours, Cours de télédétection G5*, Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg.

[Legros et al., 2013] Legros, R., Morel, L., Viguier, F. et Birot, F. (2013). *Méthodes de travail dans les réseaux GNNS 4<sup>e</sup> partie - Le positionnement cinématique temps réel suivant les méthodes "NRTK" et "RTK pivot libre"*. XYZ - Revue de l'Association Française de Topographie, pp.47-54.

[Neubert, 2008] Neubert, M., Hecht, R., Gedrange, C., Trommler, M., Herold, H., Krüger, T., Brimmer, F., (2008). *Extraction of Railroad Objects From Very High Resolution Helicopter-Borne Lidar and Ortho-Image Data*. ISPRS - International

Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII-4/C1, 6p.

[ONERA, 2015a] ONERA (2015). *Rapport Technique, PRI DROSOFILES : Traitements des données de charge utile - État de l'art sur les algorithmes de détection en lien avec les phénomènes étudiés*.

[Pereira, 2015] Pereira, A., (2015). *Valorisation des données acquises par drone sur le réseau ferré national ; Mémoire de D.E.A., INSA de Strasbourg - SNCF, Direction de l'Ingénierie*.

[Serra, 2000] Serra, J., (2000) Support de cours, *morphologie mathématique* chapitres 1 à 4.

[SNCF, 2014] SNCF (2014). Support de conférence, *L'infrastructure SNCF*.

## ABSTRACT

**Key words:** SNCF, photogrammetry, orthophotos, development, railway, extraction, accuracy, drone, classification

*SNCF deploys daily drones to measure railway network without disrupting train traffic. The aim of the project is to develop algorithms for automatic object extraction by using UAV'S photogrammetric data. Thanks to a preliminary analysis we have validated orthophotos quality which enable us object identification and characterization. Then we have developed an automatic rail extraction algorithm. This program has been split into 3 distinct blocks, orthophoto resizing according to the studied area, regular bands creation (to minimize data volume) and automatic rail extraction. The qualitative and quantitative analysis meets SNCF Réseau requirements and can be integrated into production operations. By using this method SNCF Réseau will be able to develop new tools to optimize and automatise railway characterization.*