

Un demi-siècle de Topographie à la SNCF

■ Pierre LASSEUR - Flavien VIGUIER - André RISCH - Philippe HALLÉ - Mathieu REGUL

SNCF a créé en 1970 la division de Topographie. Cette division garante de la qualité des méthodes de topographie et cartographie déployées sur le Réseau Ferré National a dû adapter son outil de travail au gré des évolutions technologiques et réglementaires avec pour objectif la fourniture de données d'entrée de précision indispensables pour assurer la disponibilité et la sécurité des circulations.

La division de Topographie a été créée en 1970 lors du démarrage des études du projet de construction de la première Ligne à Grande Vitesse LN1 PSE (LGV Paris Sud-Est), partant de Combs-la-Ville (Paris) à Sathonay (Lyon), afin de maîtriser l'ensemble des travaux topographiques et fonciers nécessaires au développement de la grande vitesse ferroviaire. En effet, la construction d'une ligne ferroviaire à grande vitesse nécessite de nombreuses interventions topographiques pour produire les plans indispensables aux études techniques et foncières tout comme assurer la réalisation et le contrôle des travaux conformément au projet.

Les projets LGV

Le choix d'un tracé de LGV (Ligne à Grande Vitesse) doit tenir compte des contraintes liées au milieu traversé, et des caractéristiques géométriques de la ligne, définies en fonction de la vitesse et de la pente maximales imposées.

Ces travaux topographiques comprennent :

1. l'établissement des canevas planimétriques et altimétriques principaux et secondaires servant de référentiel pour la réalisation des levés topographiques et des travaux de génie civil et de superstructures ferroviaires,
2. l'établissement des prises de vues aériennes nécessaires aux restitutions photogrammétriques,
3. la réalisation des plans topographiques par méthode photogrammétrique et

terrestre aux échelles du 1:5000 et du 1:1000 constituant les données d'entrée nécessaires aux études d'Avant-Projet Sommaire et Détaillé,

4. la création de la base de données parcellaires pour l'établissement des dossiers d'enquête parcellaire, ainsi que la confection des documents d'arpentage (aujourd'hui DMPC) pour l'acquisition et la maîtrise des sols,
5. le suivi des contrôles de travaux (réception des implantations, des terrassements, des axes de tracés) permettant de garantir la qualité des prestations réalisées,
6. la gestion foncière liée aux acquisitions des terrains et à la maîtrise des sols : voir la présentation de la chaîne foncière intégrée BRAMS (Base Relationnelle d'Acquisition et de Maîtrise des Sols).

L'ensemble des travaux topographiques nécessaires aux études et à la construction d'une ligne nouvelle est présenté sous forme de logigramme présenté dans la *figure 1*.

Composante parcellaire et foncière des projets LGV

SNCF Réseau est propriétaire d'un patrimoine important qui regroupe notamment les infrastructures du réseau (les voies, les gares, les ouvrages), des bâtiments à usage technique (technicentres, stations essence) ou commercial (gares en zones urbaines) ou encore ceux destinés à l'accueil de ses agents en charge des différentes missions. C'est dire l'ampleur des sujets

MOTS-CLÉS

Canevas principaux
drones, foncier, GPS/
GNSS, gyroscope,
LGV, LiDAR, SNCF,
photogrammétrie,

immobilier et foncier dans l'entreprise. Le premier se caractérise par exemple par la cession de locaux désormais inutilisés, à savoir des maisons de garde-barrières (par le passé) ou encore des bâtiments voyageurs vendus à usage d'habitation quand ils n'étaient pas tout simplement détruits.

Le deuxième porte également sur des cessions de terrain bâtis ou non, mais aussi de manière importante sur des acquisitions foncières dans le cadre des projets de Lignes Nouvelles (LN). Cette activité a beaucoup mobilisé les agents de la division de Topographie sur les lignes nouvelles Paris-Lyon (LGV Sud-Est), Paris-Le Mans-Tours (LGV Atlantique), Paris-Lille-Calais (LGV Nord), Lyon-Marseille (LGV Méditerranée), Paris-Strasbourg (LGV Est Européenne), Rhin-Rhône (LGV Rhin Rhône) et contournement Nîmes-Montpellier (LGV Contournement Nîmes Montpellier) en lien avec les équipes foncières de Réseau Ferré de France (désormais fusionné avec SNCF Réseau) et les assistants fonciers mandatés pour mener à bien les négociations et les protocoles avec les préfetures et les professions agricoles en particulier.

En effet, la particularité des LN réside dans leur tracé très rural, parfois enterré et souvent avec des spécificités offrant beaucoup de contraintes :

- traversée urbaine en sortie des grandes villes :
 - banlieue parisienne pour les LGV Sud-Est et LGV Est Européenne,
 - zone d'Avignon sur la LGV Méditerranée,
- zones de vignobles champenois et alsacien sur la LGV Est Européenne,
- territoire avec un cadastre fonctionnant différemment comme sur la LGV Est Européenne sur son linéaire d'Alsace-Moselle : adaptation des procédures pour traiter les acquisitions avec la notion de tréfonds dans les portions enterrées.

TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES POUR L'ETUDE ET LA CONSTRUCTION D'UNE LIGNE NOUVELLE

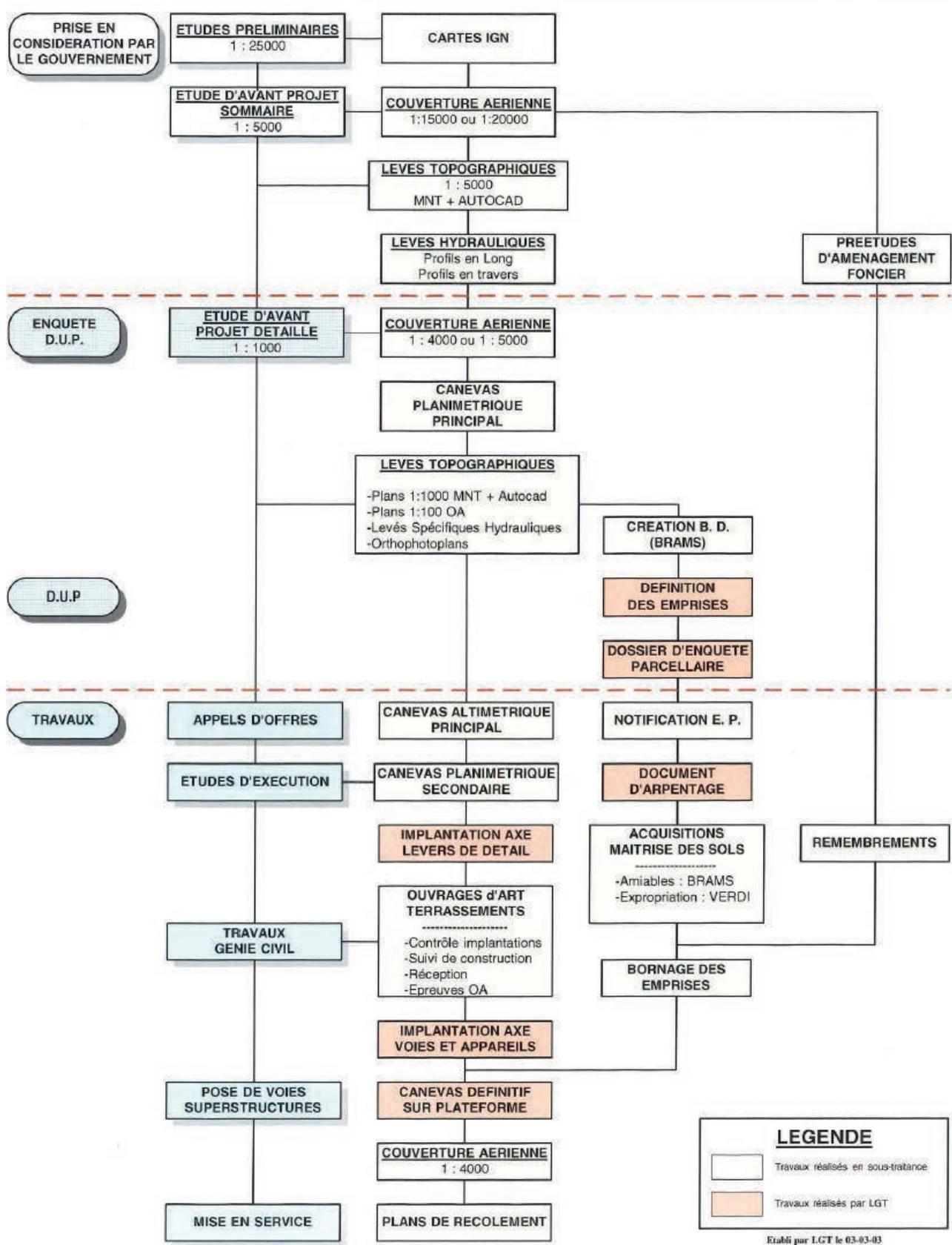


Figure 1. Logigramme des travaux topographiques nécessaires aux études et à la construction d'une ligne nouvelle



L'équipe parcellaire de la division de Topographie œuvrait sur ce segment avec pour mission de :

- confectionner les plans et les documents nécessaires à la conduite des enquêtes parcellaires,
- réaliser les modifications liées au changement de tracé, à la validation de variantes, au retour des enquêtes,
- mener à bien l'établissement des documents d'arpentage et mettre à jour les documents après retour et validation par les services du cadastre des nouvelles parcelles créées,
- gérer les paiements des acquisitions ou des indemnités dans le cadre des opérations temporaires,
- permettre une visualisation de la maîtrise des sols.

Ainsi, SNCF a élaboré la chaîne BRAMS permettant d'assurer toutes ces phases et qui offrait également la possibilité de mettre à jour tant les documents graphiques que littéraux.

On peut distinguer 8 phases types sur un projet de LN :

1. Constitution de la base de données à partir des fichiers propriétaires, des fichiers FANTOIRS et des fichiers de propriétés non bâties achetés auprès de la DGFIP. Les informations recueillies permettent de connaître les propriétaires présumés indiqués à la matrice cadastrale pour chaque parcelle impactée par l'emprise du projet, ainsi que les surfaces cadastrales et la nature des terrains. Cette phase donnant accès à des informations nominatives, un agrément de la CNIL a été nécessaire pour BRAMS.
2. Confection des dossiers d'enquête avec la réalisation des plans et des états parcellaires, ceux-ci étant en parfaite cohérence car tous les deux en lien avec la base constituée ci-dessus. Les planches cadastrales étaient numérisées (opération inutile aujourd'hui car l'ensemble des planches sont diffusées numériquement par la DGFIP) et assemblées à la commune et à la même échelle sur l'ensemble des communes touchées par le projet. Les surfaces sont calculées par intersections des limites d'emprise du projet et des limites de parcelles. Ces informations permettent de compléter l'état parcellaire avec les

contenances des différents morceaux figurant sur le plan parcellaire et leur affectation (emprise, restant).

3. Notification des enquêtes parcellaires pour laquelle BRAMS va automatiser :
 - a. envoi à tous les propriétaires d'une lettre en recommandé avec accusé de réception AR,
 - b. suivi du retour des accusés de réception avec un système de code-barres,
 - c. édition et envoi de demande d'affichage en mairie des documents n'ayant pas atteint les propriétaires concernés,
 - d. suivi du déroulement des enquêtes parcellaires.
4. Modifications après enquêtes, d'ordre alphanumérique (propriétaires, affectations de surfaces) ou graphique qui peuvent être réalisées en temps réel avec mise à jour de la base de données. BRAMS gère alors toutes ces modifications et permet l'édition des nouveaux plans et états parcellaires.
5. Établissement des documents d'arpentage (DA) par impression sur les formulaires nécessaires au service du cadastre, des informations disponibles dans BRAMS (figure 2). A réception des nouveaux numéros attribués par le service de la publicité foncière, la base est mise à jour pour pouvoir disposer des nouveaux plans et états parcellaires. Cette phase requérait l'appui d'un géomètre-expert habilité sur le territoire d'Alsace-Moselle puisque le fonctionnement propre du cadastre dans ces régions et l'application du Livre Foncier nécessitaient des interventions de terrain et l'établissement de documents spécifiques ; la notion juridique l'emporte et le formalisme est donc différent.

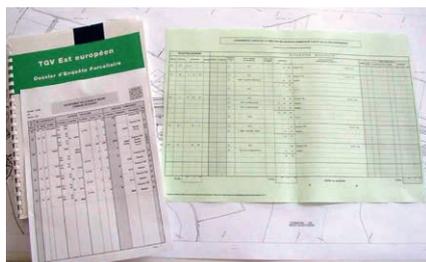


Figure 2. Gestion automatisée des DA

6. Gestion des acquisitions qui peuvent se mener selon 3 modes :

- a. acquisition directe, à l'amiable ou par expropriation. A noter que, le projet de LN bénéficie d'une Déclaration d'Utilité Publique, ce qui autorise l'application de la procédure d'expropriation hors cas judiciaire et de fait, de ne pas recueillir la signature des vendeurs du moment que le DA est conforme à l'état de l'enquête parcellaire ; cela rend aussi possible la confection des DA d'ensemble incluant toutes les parcelles d'une même section cadastrale,
- b. transfert pour le domaine public,
- c. remembrement (aujourd'hui aménagement foncier) si celui-ci inclut les emprises du projet, avec gestion de la prise de possession par anticipation. Certaines communes optent pour un remembrement sans inclusion de l'emprise du projet, ce qui facilite le travail de suivi des acquisitions.
7. Édition des bulletins de maîtrise des sols qui concerne selon les cas et l'avancement les promesses de vente, les bulletins d'éviction, les bulletins de prise de possession anticipée.
8. Régularisation de la maîtrise des sols : une fois les informations recueillies auprès des propriétaires et des occupants, elles sont saisies pour la mise à jour des fichiers de régularisation de maîtrise des sols. Outre l'édition des lettres de saisine des notaires chargés de régulariser les actes d'acquisitions, BRAMS permet également le règlement informatisé des indemnités.
9. Visualisation de la maîtrise des sols (figure 3) :
 - a. visualisation de la maîtrise d'une parcelle donnée ou bien de toutes les parcelles d'une commune,
 - b. visualisation récapitulative sur une commune en fonction des modes de maîtrise des sols et des surfaces concernées.
10. Gestion budgétaire grâce à un module permettant de ventiler sur les différents codes comptables BRAMS les dépenses prévisionnelles à partir des quantités estimées, de ratios constatés sur des LN antérieures et les zones particulières (vignes, vergers...).



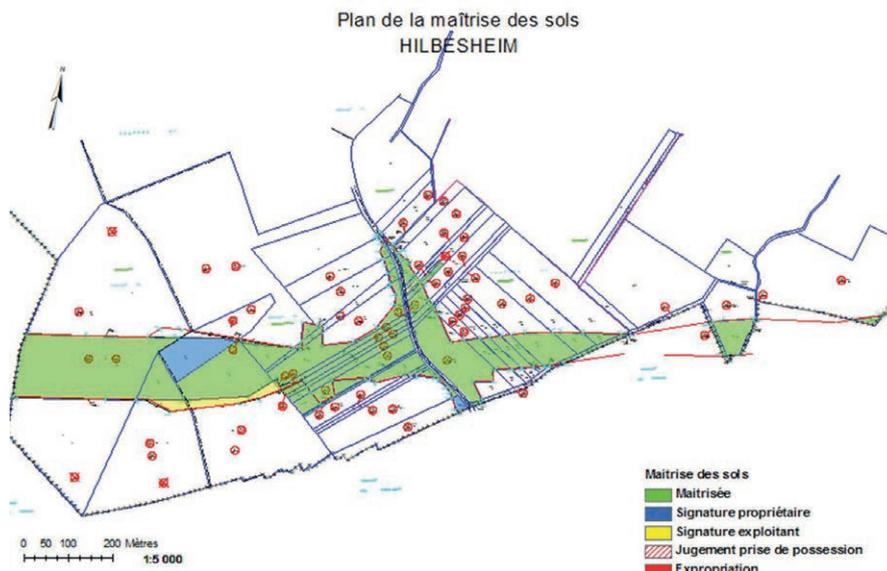


Figure 3. Visualisation de la maîtrise des sols

11. États statistiques qui permettent de consulter en temps réel un certain nombre d'informations : visualisation d'une promesse de vente, d'un bulletin d'éviction ou de prise de possession anticipée, des indemnités versées à un propriétaire ou un exploitant, synthèse des indemnités réglées.

L'activité parcellaire représente une part importante du plan de charge de la division durant de nombreuses années ; elle a permis d'établir quelques records, non homologués bien évidemment :

- des kilomètres et des kilomètres de plans, des pages et des pages d'états parcellaires,
- plusieurs milliers de communes assemblées avec des planches cadastrales sur supports calques et non géoréférencées avant de connaître le bonheur des fichiers DXF,
- des dizaines de milliers de parcelles soumises aux services du cadastre pour découpage, faisant certaines années des géomètres de la division les plus gros signataires de DA, à la faveur de l'agrément délivré par la DGFIP dans la mesure où :
 - le projet bénéficie d'une Déclaration d'Utilité Publique,
 - le projet est d'ordre ferroviaire,
 - la SNCF est un établissement public,
 - le géomètre SNCF est titulaire du titre d'ingénieur et a obtenu l'agrément de la DGFIP.

Aujourd'hui, cette activité s'est réduite fortement suite à la mise en service des dernières Lignes à Grande Vitesse, elle est pilotée par une entité en charge des

missions de MOA qui pratique majoritairement l'externalisation de ces tâches.

Évolutions des missions, des matériels et des compétences

Après la mise en service de la 1^{re} LGV (Ligne à Grande Vitesse) de Paris à Lyon en 1981, le réseau s'est développé :

- vers l'Atlantique, de Paris au Mans en 1989, et Tours en 1990,
- vers le Nord, de Paris à Lille et le tunnel sous la Manche en 1993 pour rejoindre la Grande-Bretagne, et vers la Belgique en 1997,
- vers le Sud-Est, de Lyon jusqu'à Valence en 1994,
- vers la Méditerranée, de Valence à Marseille et Nîmes en 2001,
- vers l'Est, de Paris à Baudrecourt en 2007, et Strasbourg en 2016,
- vers le Rhin-Rhône, de Dijon à Besançon et Belfort en 2011,
- vers la Bretagne-Pays de la Loire (Le Mans-Rennes), vers le Sud-Europe-Atlantique (Tours-Bordeaux) et le contournement de Nîmes et de Montpellier en 2017.

Le programme de lignes nouvelles à grande vitesse de nos jours est beaucoup moins ambitieux et les travaux topographiques assurés par la division de Topographie concernent bien plus :

- la surveillance du patrimoine avec une importante activité d'auscultation d'ouvrages d'art, parfois centenaires : mesures tridimensionnelles, nivellements de haute précision, mesures de convergences,

- la réalisation ou le pilotage de relevés sur des linéaires importants par des méthodes innovantes et modernes répondant aux enjeux de sécurité et aussi de rendement,
- la rédaction et la veille de référentiels techniques.

À l'évolution de ces missions, il faut confronter celles des techniques topographiques très rapides au cours des dernières décennies ; la division de Topographie s'est dotée régulièrement de matériels de plus en plus performants (stations totales numériques et motorisées, niveaux numériques de précision à lectures codes-barres, gyroscope Gyromat 2000 et 3000, GPS puis GNSS bi-fréquences temps réel, scanner laser fixes et dynamiques, stations de traitement Autocad et Microstation, logiciels adaptés au monde ferroviaire) permettant d'optimiser les interventions topographiques et d'améliorer la qualité des prestations réalisées. Ces acquisitions ont toujours été accompagnées d'évolutions des méthodes en adaptant le matériel aux spécificités ferroviaires et de plans de formations dispensés aux agents.

On peut donc opposer et trouver dans notre atelier ou sur nos bureaux :

- les appareils optiques types Wild T2 ou T3 et stations totales intégrant limbes, antennes GNSS, LiDAR et caméras,
- les mires parlantes inversées ou à double lecture et les mires codes-barres,
- des règles à dévers et un système LiDAR dynamique dont l'acquisition fut une première mondiale pour une ingénierie ferroviaire en 2013 ; depuis, il a balayé plus de 20 000 km de voies, traverses et attaches,
- des règles à calcul logarithmiques et des logiciels de calcul puissants pour absorber de la donnée dense type LiDAR,
- des kutchs ou des planimètres et la fonction de base qui va bien sous Autocad,
- une bibliothèque et une salle serveur de 4.5 Po,
- des cartes Top25, des rouleaux de calque et une batterie de tablettes tactiles, des écrans 32" incurvés, des souris et des claviers sans fil,



- de nombreux outils et accessoires désormais inutiles ou qui seront périmés dans moins de 15 ans.

Ainsi est faite l'évolution galopante de notre beau métier.

La topographie classique

Les relevés des infrastructures et du patrimoine ferroviaires se sont tout d'abord réalisés avec les appareils optiques (type Wild RDS, T16 ou T2) puis électro-optiques avec l'acquisition de distancemètres ajoutés sur les lunettes ou d'appareils intégrés comme les AGA600 ou les premières générations de stations totales Leica, gamme TC1600 et TC1610, puis les redoutables TC2002.

La division de Topographie a toujours pratiqué la mixité des constructeurs de ces matériels, tout comme pour les niveaux, chacun ayant ses qualités et ses petits inconvénients.

Cette méthode tachéométrique fait appel aux principes de base de la mesure topographique ; elle est tout à fait maîtrisée par les agents qui ont su la compléter de quelques spécificités purement ferroviaires avec l'utilisation d'étriers propres à chaque type de rail, de règles à lever permettant de mesurer précisément soit l'axe du rail, soit son bord intérieur ou encore l'axe de la voie. Les performances des appareils de mesures actuels offrent un rendement apprécié et permettent de réaliser des mesures de qualité notamment sur le sujet des auscultations, tout cela bien évidemment combiné à des modes opératoires et des réflexes bien acquis : contrôles fréquents des distancemètres, des embases et plombs optiques, des nivelles, pratique systématique des doubles retournements et doubles déterminations pour les travaux de précisions, du centrage forcé pour les travaux de polygonation, mesures de références multiples.

Le traitement de ces relevés fait appel aux fondamentaux des calculs topométriques qui nécessitent notamment une connaissance des systèmes de coordonnées, des particularités d'une représentation plane et un esprit de contrôle et d'analyse ; les plus anciens de la division constatent que les jeunes

générations sont assez mal formées sur ces sujets mais beaucoup plus à l'aise avec les GNSS temps réel qui fournissent des coordonnées "sorties de nulle part" ou bien les données LiDAR dont le traitement requiert une approche un peu différente et dont la densité est parfois confondue avec la précision.

De la pratique du GPS

■ Canevas principaux

Dans le cadre des projets LGV, la division de Topographie a commencé l'acquisition de matériels GPS (système 200 Leica) au début des années 90 pour mettre en place les canevas planimétriques, rattachés au système, à l'époque, NTF - Lambert 4 zones. La technologie GPS, en post-traitement, permettait d'obtenir rapidement un réseau de points homogènes avec une précision centimétrique, sur lequel on pouvait caler l'ensemble des relevés et travaux nécessaires aux projets. Ces canevas ont été élaborés avec l'aide de cabinet de géomètres-topographes, sur des directives méthodologiques de la division de Topographie. Terminées

les longues polygonales, avec visées sur des points géodésiques de l'IGN, des châteaux d'eau ou des clochers qui nécessitaient des reconnaissances conséquentes en amont.

L'évolution du réseau géodésique français avec l'avènement du nouveau système RGF93 et des projections associées Lambert 93 ou coniques conformes 9 zones ainsi que la mise en place d'un réseau d'antennes permanentes poussent aujourd'hui à réaliser des canevas sur de longs linéaires, avec efficacité et une grande fiabilité, car SNCF Réseau a la possibilité de déployer jusqu'à 18 antennes multi-constellations (système Leica 1200, GS10 et GS15).

Malgré cela, on peut observer dans certaines régions, par exemple montagneuses, proche d'un littoral ou bien transfrontalières des zones problématiques pour lesquelles le recours à la génération de données RINEX virtuelles s'avère nécessaire et salvateur.

Subsistent malgré tout les joies du nivellement direct pour la composante verticale de ces canevas, avec son florilège de repères instables, disparus ou



Figure 4. Page d'accueil Webservice SmartTopo : couverture du territoire en points géodésiques

encore à côté du canapé de la véranda qui fait office d'extension d'une ancienne maison de garde-barrière ! La réalité est parfois surprenante et nous occasionne toujours des discussions étranges avec les propriétaires des bâtiments accueillant les repères de nivellement.

Afin de pallier ce type de mésaventures, la division de Topographie étudie sérieusement aujourd'hui la possibilité de réaliser du nivellement par GNSS, avec de longues sessions d'observations utilisant notamment le réseau de triplets, mesurés beaucoup plus récemment et plus faciles à entretenir par l'IGN. A ce titre, nous souhaitons rappeler que la division de Topographie SNCF assure l'entretien et le maintien du réseau de repères de nivellement de l'IGN (dépose/repose de repères) présents dans les emprises ferroviaires.

Malgré les gains et les progrès considérables en la matière, une antenne GNSS reste un peu une boîte noire, ne fournissant pas de données aussi parlantes qu'un angle ou une distance. Cela dit, un canevas reste un élément incontournable dans le métier de topographe et une activité ancrée dans la division avec près de 800 km de canevas réalisés sur les 3 dernières années. Cet état de fait a conduit les agents à réfléchir à automatiser les phases de préparation (recherche documentaire, simulation et optimisation des lignes de base à mesurer) et surtout à utiliser les moyens digitaux modernes : fini donc les feuilles de repères qui ont pris la pluie et la carte IGN devenue illisible à force de tracer des vecteurs au stylo bille bien que celle-ci fonctionnait toujours sans cordon de recharge USB !



Figure 5. Géocube (IGN modifié)

La diffusion du résultat est aussi plus moderne car désormais en ligne, grâce au service web SmartTopo [<http://smarttopo.xyz/>] (figure 4) [Briot, 2018] en libre accès pour retrouver un point de canevas grâce aux outils de géolocalisation et la génération automatique de fiches signalétiques que chacun doit prendre soin de ne pas imprimer, afin de protéger notre belle planète.

■ Relevés topographiques

Les relevés topographiques en tachéométrie à la SNCF ont été complétés dans les années 2000 par l'utilisation du GPS Temps Réel (système 500 Leica), principalement en zone rurale pour une précision centimétrique. Cette technologie a permis de limiter la création de polygonales secondaires en (E, N, Altitude) et de diminuer grandement les temps d'interventions que nécessitaient les visées. Pour l'auscultation de talus ferroviaires par exemple, les durées pouvaient être divisées par 2, voire par 3.

Aujourd'hui, grâce à des équipements adaptés et connectés au réseau de diffusion de corrections ORPHEON et TERIA, la division pratique la même philosophie pour des relevés de points nécessaires aux recalages des nuages LiDAR acquis par méthode dynamique. Elle a aussi mis en place des systèmes d'auscultation automatique de certains talus par méthode satellitaire avec des équipements type Géocubes (Figure 5) couplé à un système de calcul et d'alerte en temps réel.

Ces matériels GPS, puis GNSS, ont



Figure 6. Chariot Geo++, SURVER



Figure 7. Chariot Elise

également conduit à concevoir des engins de mesures adaptés au monde ferroviaire et utiles pour que la division de Topographie puisse assurer sa mission relative à la maîtrise de la géométrie de la voie ; elle s'est ainsi dotée du profilomètre ferroviaire SURVER de la Société GEO++ et l'a adapté aux spécificités françaises. Cet appareil a permis d'expérimenter le levé dynamique de la voie en 3 dimensions avec une précision relative inférieure au centimètre. À une vitesse de 2 à 3 km/h, il était possible d'enregistrer toutes les secondes, la position en 3D de la voie, le dévers et l'écartement des rails. Par post-traitement, il était possible de redéfinir le tracé théorique de la voie et de le comparer au tracé réel afin de quantifier la qualité géométrique de la voie [Beets, 99].

Cela marque le début des acquisitions cinématiques et dynamiques qui se sont améliorées depuis avec l'utilisation désormais de dispositifs mixtes GNSS et LiDAR, plus éventuellement quelques capteurs dédiés à la mesure du dévers et de l'écartement des voies comme le chariot Amberg Elise (figure 7).

Tout cela apportant une réponse positive à l'un des principaux problèmes des interventions en milieu ferroviaire : réduire le temps de présence dans les emprises pour des raisons de sécurité du personnel et de disponibilités des installations (régularité des circulations).

Les mesures gyroscopiques

Au début des années 1990, la division de Topographie s'est dotée d'un gyroscope de précision : le Gyromat 2000. Il s'agit d'un gyroscope associé à un



théodolite qui est spécialement utilisé pour réaliser des orientations en tunnel avec une précision de l'ordre de 8 à 10 dmgon, sans référence extérieure. L'acquisition a été faite dans le cadre de la réalisation, à Paris, du tunnel EOLE permettant au RER E de relier la gare de Magenta et celle de Haussmann-St Lazare. Ces mesures fournissent des gisements géodésiques sur des portions de polygones en tunnel de manière indépendante des transmissions d'angles réalisées par méthode tachéométrique ; ce qui est parfaitement adapté à des milieux denses, sans possibilité de références suffisantes. Le principe de fonctionnement du gyroscope se base sur des phénomènes mécaniques et géophysiques. Le gyroscope comporte une toupie asservie à la verticale du lieu car elle est suspendue au-dessus de son centre de gravité par un ruban. Grâce à la gravité terrestre, l'axe de la toupie reste toujours en position horizontale et sa rotation (22 000 tr/min pour certaines), du fait de son inertie, tendra à lui faire garder cette position dans l'espace. Mais comme elle est reliée à la Terre par l'intermédiaire du trépied ou d'une console, elle suit la rotation de la Terre et ne peut, par conséquent, conserver son plan de rotation initial. La toupie asservie à la pesanteur réagit à cette perturbation en pivotant sur la direction de la verticale (précession) jusqu'à ce que son axe de rotation vienne dans le plan du méridien. Dans cette position, la toupie tourne comme la Terre d'Ouest en Est et elle n'est plus perturbée. Du fait de son inertie de masse, la toupie ne se place cependant pas immédiatement dans la direction du Nord, mais

elle oscille de part et d'autre du Nord en un mouvement légèrement amorti. Comme le gyroscope est lié à la verticale du lieu, il indique le Nord Astronomique, celui-ci diffère du Nord Géodésique par la déviation de la verticale.

Les relations angulaires sont relativement simples et sont présentées en *figure 8*.

La constante d'appareil E est déterminée par le constructeur sur son banc d'étalonnage installé dans son laboratoire.

La valeur N est fournie par le gyroscope à l'issue de sa phase de mesures.

La convergence des méridiens γ est obtenue par calcul en utilisant le logiciel CIRCE de l'IGN (pour les chantiers en France), par double transformation des coordonnées planes de la projection concernée et les coordonnées géographiques.

Le Gyromat dispose de 3 programmes de mesures, avec des précisions et des temps de mesures distincts (de 3 à 10 minutes). La procédure de chacun est identique :

- une approximation du Nord à +/- 1 gon près (étape 1),
- une calibration pour déterminer la position du zéro effective du ruban (étape 2),
- un amortissement des oscillations assurant une mesure préliminaire de l'orientation Nord à 0.05 gon près (étape 3),
- enfin, une détermination précise du Nord (étape 4).

La détermination d'un gisement géodésique s'effectue donc en ajoutant à ce programme de mesures des visées topographiques sur lesquelles doivent être appliquées :

- la correction de Laplace,
- la correction de la convergence des méridiens γ ,
- la réduction de réduction à la corde, très souvent négligée car n'excédant pas 1,5 dmgon/km sur le territoire français.

Par ailleurs ces mesures peuvent être affectées par plusieurs phénomènes :

- effet thermique entraînant une dérive pendant la première heure ; le constructeur et surtout la pratique montrent qu'un temps d'acclimatation est indispensable lorsque le gradient de température est important entre deux lieux successifs de mesures (par exemple dans le cas de mesures en extérieur puis en tunnel). Cette attente est de l'ordre de 60 minutes pour un écart de 14°C. L'optimum est atteint quand les variations de températures n'excèdent pas 0.10°C/minute, ce qui peut nécessiter par exemple l'utilisation d'un parasol, donnant ainsi sur le chantier une image cocasse du métier de géomètre ;
- les vibrations générées par les conditions météorologiques ou bien l'activité de creusement en tunnel. Aussi, il est préférable de mesurer en tunnel hors période de production et de veiller à la qualité des supports du gyroscope en privilégiant les piliers béton ou les consoles ; l'utilisation de trépied est déconseillée ;
- la qualité de centrage. Vendu avec un trépied et un fil à plomb, plusieurs évolutions ont été mises en place en ajoutant un plomb optique puis en réalisant une console spécifique adaptée au gyroscope et aux embases pour prioriser le centrage forcé.

La méthodologie des observations angulaires s'apparente quasiment à celle, ancienne, des tours d'horizon : 4 séries de mesures avec 4 pointés pour chaque série (2 dans chaque position de la lunette), voire 5 séries si le calcul de la moyenne des gisements géodésiques obtenue fait apparaître un écart individuel supérieur à 20 dmgon.

Un soin particulier est apporté à la calibration de l'appareil sur le chantier pour s'insérer au mieux dans le référentiel topographique mis en place. On réalise alors des sessions de mesures sur des points connus à chaque extrémité de

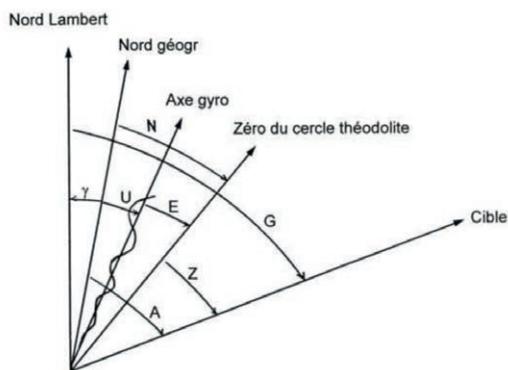


Figure 8. Relations angulaires pour la mesure gyroscopique

	Relations angulaires
A = Azimut	
E = Constante de l'appareil	$N = E + U$
U = Centre des oscillations	
Z = Lecture théodolite de la cible	$A = N + Z$
γ = Convergence des méridiens	
N = Déviation par rapport au Nord géographique	$G = A + \gamma$
G = Gisement	



l'ouvrage ; la constante ainsi calculée sera appliquée aux mesures faites en tunnel pour obtenir des gisements en cohérence avec le canevas de surface. À titre de contrôle, il est fortement conseillé de faire des mesures aller-retour des bases à déterminer en tunnel ; le respect des points évoqués ci-dessus permet très souvent d'obtenir des écarts aller / retour inférieurs à 10 dmgon.

Généralement les interventions sont judicieuses quelques hectomètres après le puits de départ ou avant le puits d'arrivée, après une courbe longue ou serrée, à intervalles réguliers en alignement droit (habituellement tous les kilomètres).

Cette activité connaît une forte mobilisation sur tous les sujets souterrains ferroviaires, routiers ou encore hydrauliques. En atteste les chantiers et projets pour lesquels la division de Topographie a mis à disposition son savoir-faire en la matière depuis maintenant presque 30 ans :

- gare souterraine de Monaco, tunnels de la LGV Méditerranée des Pennes-Mirabeau et Castellane, de la LGV EE à Saverne,
- tunnel de la ligne 14 de la RATP,
- des tunnels en Belgique, en Suède, en Grèce, en Russie et le tunnel duplex de l'A86 pour des entreprises de TP,
- chantier du tunnel Euralpin Lyon-Turin en Maurienne
- galerie hydraulique de Salazie à l'Île de

- la Réunion, et du Rizanese en Corse,
- site d'extraction de cuivre El Teniente au Chili,
- infrastructure des expériences du CERN à Genève,
- différents projets d'extension des réseaux de transports en commun dans le cadre du Grand Paris et de Paris 2024.

Depuis 2014, le Gyromat 2000 et son (vieux) T1610 ont été remplacés par un Gyromat 3000 couplé à une station totale Leica TS30, pour un investissement de plusieurs centaines de milliers d'euros (figure 9).

Cette activité est désormais reconnue auprès des entreprises de BTP notamment ; nos interventions permettent de contrôler les mesures dites traditionnelles réalisées par les équipes topo et rassurent à la fois les maîtrises d'œuvre travaux et les maîtrises d'ouvrage.

La donnée LiDAR ou la topographie "ultra-moderne"

Après avoir utilisé pendant de très nombreuses années les techniques de topographie classique pour l'inspection des ouvrages du Réseau Ferré National (RFN), SNCF a souhaité en 2006 investiguer l'apport des techniques de mesures LiDAR. Bien que très précises les méthodes d'auscultation par nivellement et tachéométrie trouvaient leurs

limites dans le suivi de l'ensemble des mouvements et déformations des ouvrages. En effet, les outils classiquement déployés se concentraient uniquement sur la mesure de quelques profils positionnés par les experts métiers par suite de l'étude des points de faiblesses des ouvrages. Ces profils étaient relevés en général par intersections spatiales, ce qui ne permettait pas d'identifier d'éventuels gonflements ou tout autre type de mouvements opérant entre les profils. Pour pallier ces limites les équipes de la division de Topographie ont lancé un sujet de stage "Inspection des ouvrages en terre de la SNCF par lasergrammétrie terrestre" [Viguié, 2006]. Ces travaux ont permis d'identifier les apports des technologies LiDAR (exhaustivité de la mesure, représentation 2D/3D) mais également leurs limites (précision ne répondant pas aux exigences de surveillance du RFN, vitesse d'acquisition faible, impossibilité de mesurer en présence de végétation). Bien qu'encourageants, les premiers résultats obtenus n'ont pas permis de répondre aux exigences de surveillance et de maintenance d'ouvrages ferroviaires (précision de plusieurs centimètres, dédoublement d'objets, durées d'intervention incompatibles avec des travaux en environnement exploité). De plus, l'absence d'outils permettant le traitement, l'exploitation et le partage de données auprès de l'ensemble des experts métier ont mis à mal l'industrialisation rapide des systèmes LiDAR pour SNCF. Néanmoins, consciente des enjeux et des capacités offertes par cette nouvelle technologie, les équipes SNCF ont continué à investiguer les systèmes LiDAR et en particulier les solutions de valorisation et de diffusion des données. Ces travaux se sont matérialisés par de nombreux échanges avec les constructeurs de matériels, les cabinets de topographie ou bien encore d'autres industriels tels la RATP. Ces échanges ont abouti à la mise en place de nombreuses expérimentations qui ont permis la validation des précisions et exactitudes de mesure des LiDAR 3D pour le ferroviaire. C'est finalement en 2008 que le premier système a été intégré au sein de la production ferroviaire pour non plus uniquement le contrôle d'ouvrages en terre instables mais également des



Figure 9. Gyromat 3000 sur console en galerie (à gauche) et sur pilier (à droite)





Figure 11. Le Leica C10 en opération pour le suivi d'un versant

Figure 10. Réalisation d'un relevé d'un tunnel en travaux

contrôles de tunnel (figure 10), des relevés de gares dans le cadre de leur mise en conformité pour les Personnes à Mobilité Réduite (PMR), de relevés de Technicentres ou de zones de triages en cours de réhabilitation, ou bien encore de reconstruction 3D d'ouvrages et de sites dans le cadre de projets de modernisation des installations (figure 11).

L'usage des LiDAR 3D, bien qu'artisanal à ses débuts, s'est vite rendu indispensable dans le cadre des projets de régénération de voies, d'études de signalisation (simulation de visibilité de signaux), de réfections de gares ou d'études de glissements de terrain [Fievet, 2011].

Au-delà des relevés de zones ponctuelles, les équipes SNCF ont également souhaité mener une réflexion sur l'utilisation de systèmes LiDAR mobiles. C'est en 2011 que les premiers systèmes LiDAR dynamiques ont été testés sur le Réseau Ferré National dans le cadre de projets Régévoie (projet de régénération de lignes ferroviaires) et la mise en place de systèmes de signalisation nouvelle génération ; projet nommé ETCS (*European Train Control System*). L'objectif affiché, réaliser le relevé de plusieurs dizaines à centaines de kilomètres de voies ferrées en quelques heures de façon non intrusive et non capacitaire (sans perturber les circulations et donc sans limiter la capacité de l'exploitation ferroviaire).

Après avoir validé les systèmes de mesure par comparaison de données topographiques terrestres (tachéométrie, nivellement et mesures GNSS) et LiDAR aérien, les équipes SNCF ont souhaité internaliser la compétence LiDAR dynamique terrestre afin de

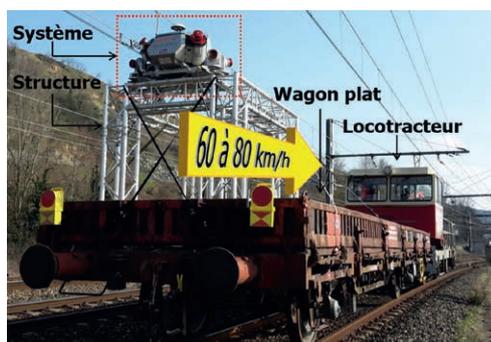


Figure 12. Le système Riegl VMX-450

maîtriser la technologie et d'ainsi être en capacité de :

- réaliser le relevé de nombreuses lignes ferroviaires avant régénération afin d'assurer une grande réactivité d'intervention,
- challenger et contrôler les sous-traitants SNCF,
- identifier les besoins en développements logiciels pour assurer l'automatisation des traitements de données et la livraison de données répondant aux standards ferroviaires (mesure de dévers, écartements, entraxes, hauteurs/désaxements caténaires...).

Au regard des besoins métiers et des précisions et exactitudes attendues la division Assistance Travaux et Topographie (le nouveau nom de la division de Topographie à partir de 2008) s'est tournée vers le système Riegl VMX-450 (figure 12) accompagné des suites de traitement de données développées par Terrasolid (TerraScan, TerraMatch) et Technet Rail (SiRailScan, SiRailView).

Après quelques mois de tests opérationnels, le système a été déployé de façon industrielle dans le cadre d'études de gabarit pour les projets de Transports

Exceptionnels Particulièrement Encombrants (TEPE) [Regul, 2014]. L'objectif : identifier les obstacles aux circulations ferroviaires sur un corridor de plus de 14 000 km de voies ferrées sur un planning relativement contraint (2 mois étant alloués à la réalisation des mesures et 8 à la production des livrables). Bien qu'ambitieux, ce projet a permis de valider le savoir-faire des équipes SNCF et l'intérêt des systèmes LiDAR dynamiques au service du ferroviaire. Cette première réussite a par ailleurs permis à SNCF d'industrialiser l'usage de cette technologie avec ses partenaires et sous-traitants [Choquart, 2014], [Regul, 2014], [Jacquin, 2015]. Les premiers marchés d'envergure ont ainsi pu être lancés, rendant possible la dissémination de cette technologie auprès de l'ensemble des régions SNCF et des métiers (métiers de la voie, du gabarit, des caténaires, des ouvrages d'art et des ouvrages en terre).

Bien que déployées au quotidien sur le RFN, les technologies LiDAR trouvaient leurs limites dans le traitement et l'analyse des données acquises. En effet, malgré l'émergence de quelques outils permettant l'extraction automatique d'objets et de formes (Leica Cyclone,



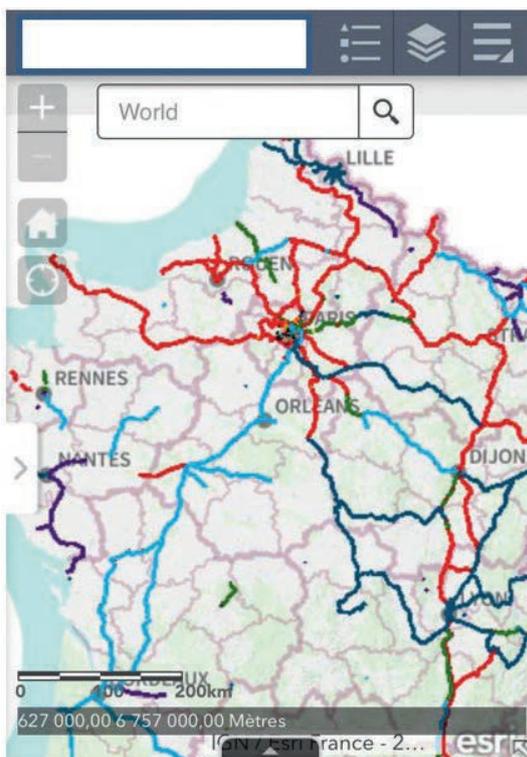


Figure 13. La base de données LiDAR mise en place par SNCF

3D Reshaper, Terrasolid), les suites logicielles étaient peu adaptées aux besoins SNCF et ne permettaient pas une analyse automatisée des données. De plus, au regard du volume de données captées (plusieurs dizaines de Go par kilomètre) il était difficile de partager les nuages de points et les résultats à l'ensemble des acteurs des projets. Les équipes SNCF se sont donc rapidement penchées sur le développement d'outils métiers spécifiques permettant à la fois le partage "massif" des données dans toute l'entreprise mais également l'analyse semi-automatisée ou automatisée des nuages LiDAR : création d'une base de données permettant la diffusion d'ortho LiDAR et de nuages de points en streaming, outils d'extraction de rails ou de création de profils en travers et de coupes, fonctionnalités de recalage de nuages de points de grands linéaires, etc. sont autant d'outils qui ont été développés à la fois au service de la production LiDAR SNCF mais également pour assurer un contrôle automatisé des nuages de points acquis par les différents sous-traitants intervenants sur le RFN (figure 13) [Michelin, 2015], [Regul, 2017].

Sur la base des méthodologies métiers



Figure 14. Un Engin de Surveillance de la Voie (ESV) équipé du système LiDAR RIEGL New VMX-Rail

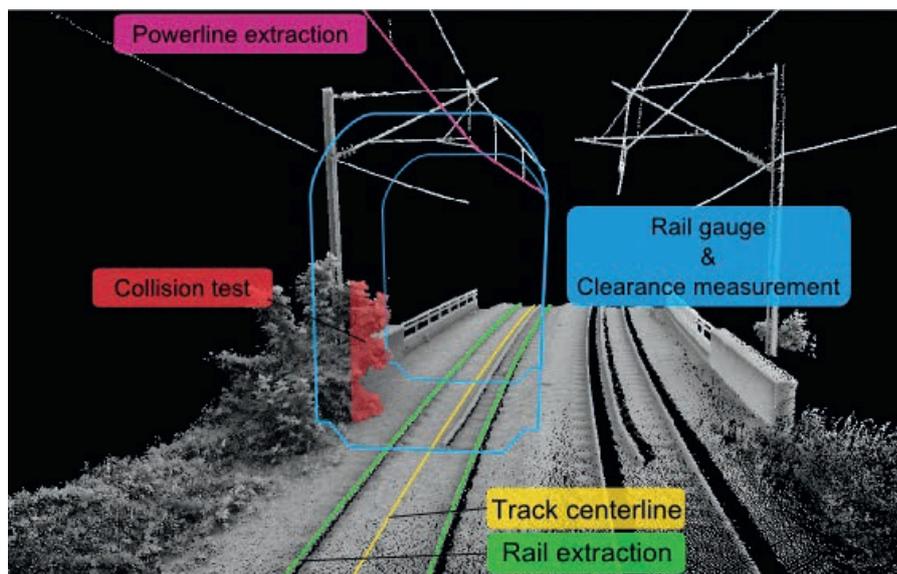


Figure 15. Contrôle de gabarit à partir de données LiDAR ferroportées

validées (précision, exactitude répétabilité), des outils de traitement/valorisation des données industrialisés et des besoins constants de cartographie des installations (contrôle de gabarit, étude de la végétation, suivi de mouvements, détection de changement...) SNCF Réseau a souhaité approfondir l'usage des technologies LiDAR en les positionnant au cœur des processus de gestion du patrimoine ferroviaire. Pour cela, une démarche a

été enclenchée dès 2017 afin d'équiper des engins de maintenance parcourant quotidiennement le Réseau Ferré National de systèmes LiDAR embarqués. Le développement d'un nouveau système robuste pouvant être déployé sur un automoteur tout en respectant la réglementation ferroviaire a été confié à la société Riegl. Le premier système, équipant les Engins de Surveillance de la Voie (systèmes ESV intégrés dans le programme Vigirail SNCF et réali-



sant des mesures de géométrie et de contrôle de l'armement de la voie a été équipé, testé et validé en décembre 2018. Les 3 systèmes sont opérationnels depuis juin 2019 et réaliseront plus de 200 000 km de relevés LiDAR annuellement à partir de 2020 (figure 14).

Les données acquises seront dans un premier temps, traitées pour répondre au besoin de contrôle de gabarit/débouché de l'infrastructure (figure 15) et partagées sur la plate-forme de diffusion interne, mais de nombreuses applications et usages complémentaires sont d'ores et déjà envisagés (cartographie de l'infrastructure, récolement après travaux, jumeau numérique, BIM).

Ainsi, en un peu plus de 10 ans, les systèmes LiDAR se sont imposés chez SNCF comme des technologies majeures, voire indispensables à la connaissance, au suivi et à la maintenance des infrastructures ferroviaires. Ce nouvel outil a nécessité la mise en place de méthodes et processus de travail spécifiques et a constamment challengé la division Assistance Travaux et Topographie qui a su, en s'adaptant aux besoins du mainteneur (suivi quotidien des installations) positionner le LiDAR et la topographie au cœur des méthodes et processus de surveillance/maintenance du Réseau Ferré National.

Les drones et la topographie aérienne

En complément des travaux menés sur l'intégration des LiDAR dans les processus SNCF, la division Assistance Travaux et Topographie pilotait également des travaux sur l'utilisation des principes photogrammétriques au service de la modélisation 3D du patrimoine ferroviaire. C'est en 2007 qu'ont été démarrés les premiers travaux liés au déploiement massif des techniques de photogrammétrie [Baert, 2007] et ils se sont poursuivis en mode pré-industriel jusqu'à fin 2011 [Fina, 2009], [Nawfal, 2009]. Ces travaux se sont principalement concentrés sur l'analyse des ouvrages rocheux à risque et ont abouti à la mise en place d'une thèse [Assali, 2014] et à de nombreux travaux complémentaires d'étude et d'analyse

des précisions, exactitudes, répétabilité, avantages et limites des solutions photogrammétriques [Trochon 2012], [Gozé, 2013]. C'est au cours de cette thèse, et plus précisément en mars 2011, que les premières réflexions sur l'usage de drones ont été menées. En effet, lors de l'étude de parois rocheuses verticales à subverticales il était difficile, voire impossible de réaliser les relevés précis des parties supérieures des ouvrages sans engager la sécurité des personnels. Après avoir testé l'usage des hélicoptères habités, trop coûteux pour des ouvrages de faible linéaire, le choix s'est porté sur le déploiement de systèmes drones ; les premiers tests ont donc été menés dès 2011. Au-delà de l'intérêt technique des drones pour mesurer les zones inaccessibles, les équipes SNCF se sont tournées vers cette technologie en raison de la mise en place par le législateur français d'une réglementation innovante permettant l'usage des aéronefs télépilotes [Viguié, 2014] sur le territoire national. L'usage de drones étant rendu possible de manière industrielle, la division Assistance Travaux et Topographie a lancé ses premières opérations industrielles (relevé de parois rocheuses et d'ouvrages d'art) et investi dans un système (figure 16), [Bakkouch, 2013]. Les opportunités offertes par la technologie drone (capacité à intervenir de façon non intrusive et non capacitaire, sécurité, coût) ont rapidement fait apparaître l'intérêt de déployer ces outils pour de nombreux métiers

SNCF (étude de la végétation, analyse d'installations électriques sous tension, visite d'ouvrages...). Afin de structurer la démarche d'intégration de cet outil dans les processus ferroviaires, les équipes SNCF ont souhaité mettre en place un Minilab (MiniLab Drones 360) s'appuyant sur la méthode d'ingénierie de l'innovation DKCP (*Define, Knowledge, Concept, Project*) développée par l'École des Mines de Paris. Cette méthode, qui permet de structurer les connaissances tout en permettant le développement de nouveaux concepts est particulièrement adaptée à l'analyse des opportunités offertes par l'intégration de nouvelles technologies ou de nouveaux outils dans les milieux industriels. Pour mener ces travaux les équipes SNCF se sont appuyées à la fois sur des experts métiers internes (spécialistes de la sûreté, de la sécurité, de la topographie, de l'inspection) mais également des entreprises et des laboratoires de recherches externes (Fly-n-Sense, SenseFly, Delair Tech, SpirOps et l'ONERA). Des concepts triviaux (usage de drones pour la réalisation de relevés topographiques, l'inspection d'ouvrages d'art ou d'ouvrages en terre) à des solutions disruptives pour l'époque (drone commensal pour les trains et les hommes) ces travaux, menés en 2012, ont permis la mise en place de la feuille de route drone pour le groupe SNCF ainsi que l'établissement du programme de recherche drone ferroviaire (en particulier mise en place d'un

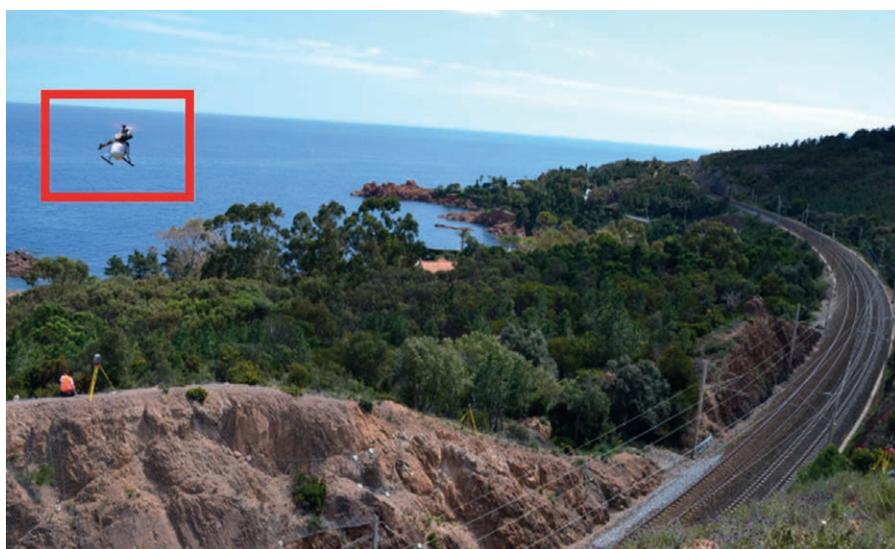


Figure 16. Le système Héliptise HE190 en opération sur une paroi rocheuse





Figure 17. Le système Delair DT26 déployé pour les missions de détection d'intrusion sur le réseau

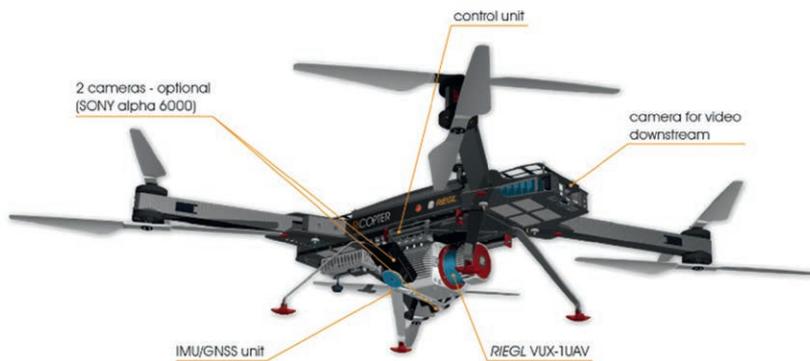


Figure 18. Le système Riegl Ricopter équipé d'un LiDAR VUX-1



partenariat avec l'ONERA) aujourd'hui partagé avec les autres gestionnaires d'infrastructures ferroviaires européens (SBB CFF, Network Rail, Deutsche Bahn) et l'Union Internationale des Chemins de Fers (UIC). Celle-ci est toujours utilisée aujourd'hui car de nombreux concepts n'ont pas encore pu être déployés faute de solutions technologiques adaptées ou d'un cadre réglementaire établi.

Une fois la feuille de route établie, les équipes SNCF ont lancé l'industrialisation des outils drones au service du ferroviaire. D'abord concentrés sur le déploiement de systèmes pour les problématiques liées à la détection d'intrusion sur le RFN (figure 17), les travaux ont rapidement basculé sur l'usage des technologies photogrammétriques et LiDAR pour la représentation 2D et 3D des emprises ferroviaires.

Relevés de triages ferroviaires, d'ouvrages d'art, de parois rocheuses, de bâtiments, inspections d'installations électriques (en thermique et visible), d'ouvrages de génie civil sont autant d'applications nécessitant le déploiement de systèmes drones en



Figure 19. Relevé LiDAR par drone avant et après filtrage de la végétation

complément des méthodes et outils actuellement en place (relevés topographiques terrestres, inspections pédestres, inspection par train).

Forte de son expérience dans le déploiement de systèmes LiDAR terrestres l'équipe SNCF s'est lancée dans l'utilisation de cette technologie sur drone. Ainsi, dès 2014, SNCF a investi dans un système Riegl Ricopter intégrant

un LiDAR Riegl VUX-1 UAV (figure 18). Ce système a démontré son potentiel en complément des outils LiDAR statiques, par exemple la mesure de zones inaccessibles, les relevés de zones de triages ou de gares (pour lesquelles il est parfois difficile de mettre en place un dispositif de sécurité adapté). Nous pouvons citer en particulier l'usage de ce système LiDAR



Figure 20. Visite d'installations caténaires à l'aide de drones



Figure 21. Analyse du risque végétation à partir de données LiDAR par drone

dans le cadre de l'étude et l'analyse de la végétation. En effet, sa capacité à mesurer sous couvert végétal (système LiDAR multi-échocs) lui permet d'acquérir des données denses et précises y compris en environnement contraint. Le Ricopter est donc déployé très fréquemment pour réaliser des relevés de terrains (modèles numériques de terrain ou de surface) évitant ainsi de lourdes et coûteuses opérations d'élagage (figure 19).

En parallèle du déploiement des systèmes LiDAR les méthodes photographiques plus classiques se sont développées pour assurer la réalisation de diagnostics simplifiés d'installations difficiles d'accès tels des viaducs ou des installations électriques (figure 20). Basés sur les principes d'analyse d'images et de photogrammétrie (détection de corrosion, de fissures, mesures de surfaces ou de déformations en 2D et 3D) ces outils rendent accessibles les techniques topographiques à l'ensemble des équipes SNCF assurant ainsi la dissémination du métier et des usages au plus près des besoins.

Au regard de l'industrialisation grandissante de la technologie drone et des cycles d'innovation très court terme, SNCF Réseau a souhaité créer en 2017 une filiale spécialisée dans le déploiement de moyens de mesures non intrusives et non capacitaires (comme les drones et robots) et la valorisation des données captées. ALTAMETRIS est donc née en avril 2017 s'appuyant sur les 5 ans de recherche, analyse et industrialisation des outils et méthodes mis en place au sein de la division Assistance Travaux et Topographie.

Au-delà de la maîtrise des moyens de mesures drones (réglementation, sécurité, usage), l'analyse, la valorisation et la diffusion des données captées sont rapidement apparues comme un enjeu majeur. Pour cela ALTAMETRIS s'est focalisée sur le développement d'outils et de méthodes permettant l'analyse et l'extraction automatique d'informations dans les données. On peut par exemple citer le développement d'outils permettant l'identification et l'analyse du risque végétation [Perrin, 2017] (figure 21).

Afin de mutualiser les outils et les moyens au service du groupe public ferroviaire, ALTAMETRIS et SNCF Réseau réalisent maintenant des développements coordonnés dans le cadre de projets de recherches européens ou bien encore par l'intermédiaire du partenariat de développement récemment signé pour répondre aux besoins et enjeux d'analyse de gabarits. Des travaux sont également en cours autour du jumeau numérique et du BIM (figure 22).

L'ensemble de ces travaux visent à permettre à SNCF d'automatiser et d'industrialiser les traitements de données au service de la maintenance.

Conclusion

Au cours de ces cinquante dernières années, les équipes de la division de Topographie SNCF ont su adapter leurs outils et méthodes de travail pour répondre aux enjeux de sécurité et de disponibilité du réseau ferré français. Des études amont, au récolement de projets en passant par le suivi de travaux, la palette des besoins en données topographiques est large et couvre tant les travaux souterrains qu'aériens. Quelles que soient les technologies mises en œuvre (gyroscope, GNSS, LiDAR ou photogrammétrie), les outils et méthodes font appel à l'ensemble des compétences et connaissances de la profession de Géomètre Topographe : mesure, précision, analyse de données, analyse d'images, extraction et valorisation de données et bases de données ; les Topographes sont et doivent être (pour longtemps encore) au cœur des développements technologiques car leur savoir-faire et leur connaissance des

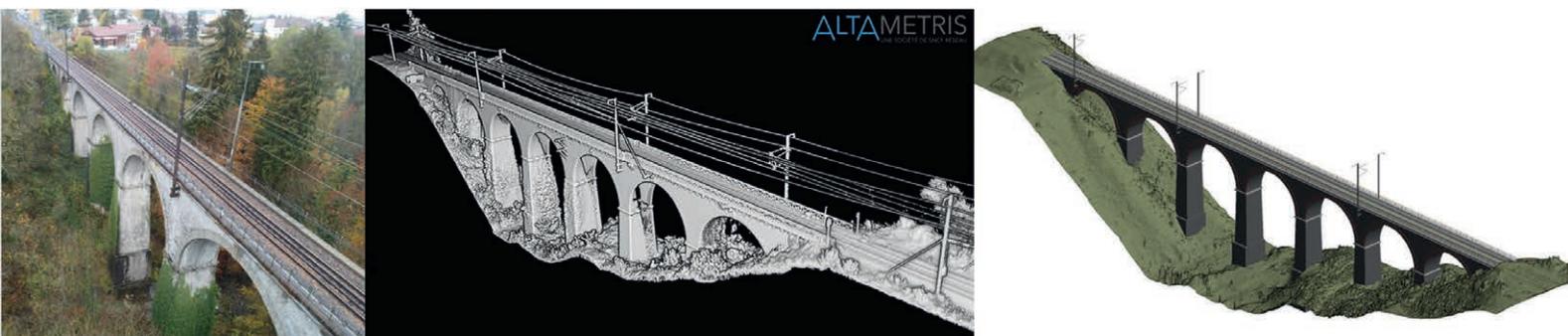


Figure 22. De l'acquisition à la production de maquettes 3D d'ouvrages

► besoins et attentes des clients leur permettent d'orienter les travaux de Recherche et Développement au service des métiers de la mesure.

Voilà pour la feuille de route des 50 prochaines années ; notre activité continuera aussi à intégrer de nouveaux profils, peut-être plus axés sur la qualification, la gestion et la diffusion de la donnée, mais en tous les cas maîtrisant parfaitement les outils digitaux.

Une aventure humaine

Il est clair que tout cela n'est possible qu'avec les gros moyens dont dispose l'entreprise ; moyens bien entendu à la hauteur des exigences du ferroviaire : sécurité des personnes et des circulations, qualité et fiabilité du réseau et développement de celui-ci pour assurer toujours plus de circulations devant permettre aux différents opérateurs de demain d'offrir de plus en plus de produits liés aux déplacements des voyageurs.

Ces missions ne peuvent pas non plus être menées à bien sans la compétence, la motivation et l'implication des nombreux agents de la division : c'est Audrey, Audric, Guillaume, Brice, Franck, Benjamin, Laurent, Pascal, Flavien, Bruno, Pierre, Mathieu, Yoann, Margaux, Vincent, Raphaël, Michaël, Fred, Alex, Olivier, Jean-Christophe, Delphine, Christian, Jérôme, Antoine, Nicolas, Philippe, Colette, Stéphanie, Nelly, François, Claudine, Gérard, Laurent, Roland, Michel, Grégory, Jean-Claude, André, Claude, Jean ... c'est plus de 150 personnes depuis la création de la division (avec les relais dans les pôles régionaux), ingénieurs, techniciens, alternants, reconvertis professionnels, toujours passionnés par leur métier exercé très souvent en déplacement, au service du réseau sur tout le territoire, offrant à chacun de sacrées tranches de vie ; bref, une belle aventure technique comme décrit dans cet article mais aussi une énorme aventure humaine qui ne nous fait pas oublier Michel Ellert et Grégory Grande, décédés accidentellement en janvier 2006 dans l'exercice de leur métier, et Patrick Manant disparu très récemment. ●

Références

Assali P., 2014, *Modélisation géostructurale 3D de parois rocheuses en milieu ferroviaire Application aux Ouvrages en Terre*, Thèse de doctorat, École doctorale Mathématiques, Sciences de l'Information et de l'Ingénieur

Bakkouch L., 2013, *Étude des processus d'acquisition et de traitement de données acquises par aéronef léger pour les travaux d'inspection de la SNCF*, Projet de fin d'Études, ESGT

Beets S. 1999, *Bilan d'un levé de ligne à grande vitesse par profilomètre ferroviaire Adaptation au TGV Méditerranée*, Revue de l'Association Francophone de Topographie, XYZ, n° 88

Biro F., Bongibault A., Lasseur P., Regul M. *La campagne géodésique de SNCF Réseau pour la régénération de son infrastructure : de la préparation à la diffusion*, Revue de l'Association Francophone de Topographie, XYZ, n°154

Choquart Q., 2014, *Intégration des systèmes d'acquisition de données topographiques par scanner laser dynamique dans les processus de mesure et de contrôle des gabarits de la SNCF*, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Fievet A., 2011, *Apports de la lasergrammétrie terrestre pour les études de confortements de parois rocheuses*, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Gozé A., 2013, *Développement et exploitation d'un produit de type "image solide"*. Application aux ouvrages rocheux de la SNCF, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Regul M., 2014, *Mobile Mapping : A new tool for clearance detection on the French Railway Infrastructure*, European Lidar Mapping Forum, Amsterdam (Hollande)

Regul M., Dupre C., Llorca T., 2014, *Contribution of Mobile Mapping for Monitoring and Inspection of SNCF Railway Infrastructure in France*, Hexagon Live, Las Vegas (USA)

Jacquin A., 2015 *Qualification de la précision de données topographiques issues d'acquisitions par méthode scanner laser dynamique ferroporté au sein de la SNCF*, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Michelin J.C., 2015, *Point Cloud Management for an Easy and Flexible*

Access to Data International Lidar Mapping Forum, Denver (USA)

Perrin L., 2017, *Analyse du risque végétation dans les emprises ferroviaires à partir de données LiDAR acquises par drones*, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Regul M., Richard F., Michelin J-C., Landes B. *SNCF Réseau : de l'acquisition 3D à la diffusion de la donnée*, Revue de l'Association Francophone de Topographie, XYZ, n° 153

Bongibault A., Biro F., Lasseur P., Regul M. *SNCF Réseau : La campagne géodésique de SNCF Réseau pour la régénération de son infrastructure : de la préparation à la diffusion*, Revue de l'Association Francophone de Topographie, XYZ, n°156 SmartTopo [<http://smarctopo.xyz/>]

Trochon M.L., 2014, *Analyse des méthodes photogrammétriques de corrélation d'images pour l'étude des ouvrages rocheux*, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Viguié F., 2006, *Suivi des mouvements des ouvrages en terre de la SNCF par lasergrammétrie*, Projet de fin d'Études, Insa de Strasbourg

Viguié F., Pollet N., Goussu G., *La législation drone*, Revue de l'Association Française de Topographie, XYZ n°141

Contacts

Pierre LASSEUR
pierre.lasseur@reseau.sncf.fr

Flavien VIGUIER
flavien.viguiere@altametris.com

André RISCH
andre.risch@reseau.sncf.fr

Philippe HALLÉ
philippe.halle@reseau.sncf.fr

Mathieu REGUL
Mathieu.regul@reseau.sncf.fr

ABSTRACT

SNCF created in 1970 the land surveying division. This division which guarantees the quality of topographic and cartographic methods deployed on the French National Railway Network has had to adapt its working tool according to technological and regulatory developments with the objective of providing precise data which are mandatory to ensure safety, security and availability of the train traffic.