

OPTIMISER LA MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES GRÂCE AU JUMEAU NUMÉRIQUE



SOMMAIRE

INTRODUCTION

04

CHAPITRE 1

06

COMPRENDRE LE JUMEAU NUMÉRIQUE

- 10 Le jumeau numérique : pourquoi le déployer ?
- 12 L'utilisation du jumeau numérique dans le domaine ferroviaire : entre défis et opportunités
- 16 Techniques et technologies sous-jacentes à l'intégration du jumeau numérique

CHAPITRE 2

24

EXPLOITER PLEINEMENT LE POTENTIEL DU JUMEAU NUMÉRIQUE

- 28 Commencer le plus tôt possible à construire son jumeau numérique
- 29 Adopter une stratégie de valorisation progressive de ses assets digitaux
- 30 Capitaliser sur les données existantes
- 31 Mutualiser les traitements pour différents usages de ses données
- 32 Adopter des technologies et outils rentables

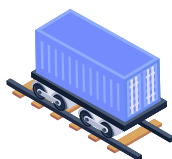
CHAPITRE 3	33	DÉPLOIEMENT CONCRET DU JUMEAU NUMÉRIQUE CHEZ SNCF RÉSEAU
	38	Automatiser la détection de défauts sur les objets télécom aux abords des voies
	42	Caractériser la végétation dangereuse aux abords des voies
	46	Caractériser la dangerosité des passages à niveaux
	50	Vérifier la conformité des profils de ballast
	54	Mesurer la géométrie caténaire
	58	Analyser les gabarits ferroviaires
	62	Diagnostiquer les parois rocheuses et revêtues
CONCLUSION	67	

INTRODUCTION

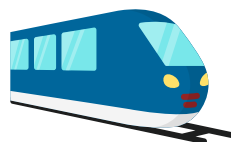
SELON L'UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER (UIC)



LA DEMANDE MONDIALE
DE TRANSPORT
FERROVIAIRE DE
PASSAGERS DEVRAIT
CROÎTRE À UN TAUX DE
3,6% D'ICI 2031



LE VOLUME DE
FRET FERROVIAIRE
MONDIAL DEVRAIT
**AUGMENTER DE
2,7%.**



EN EUROPE, LE TRAFIC
À GRANDE VITESSE
DEVRAIT **TRIPLER ET
LE FRET DOUBLER* !**

European Commission
PwC; "Industry 4.0: Building the digital enterprise"); Gartner (2020) : "Predicts 2020: Digital Twins Will Become Mainstream in Industrial IoT".

Pour répondre à cette demande croissante de solutions de transports bas carbone, **les gestionnaires d'infrastructures doivent améliorer la performance, la fiabilité et la sécurité leurs réseaux ferroviaires.**

L'un des enjeux pour ce faire, est d'optimiser les processus de maintenance.

Cependant les investissements n'augmentent pas aussi rapidement que les coûts associés à la maintenance.

La technologie pourrait-elle se mettre au service de l'optimisation des processus de maintenance ?

Les chiffres sur l'utilisation du jumeau numérique semblent aller en ce sens.

Selon une étude PWC de 2020, les réseaux utilisant des solutions de maintenance prédictive, comme les jumeaux numériques, ont signalé une **réduction des coûts de maintenance de 20% à 30% et une amélioration de la disponibilité des actifs de 10% à 15%**

Vous aussi vous souhaitez déployer le jumeau numérique mais ne savez pas par où commencer ?

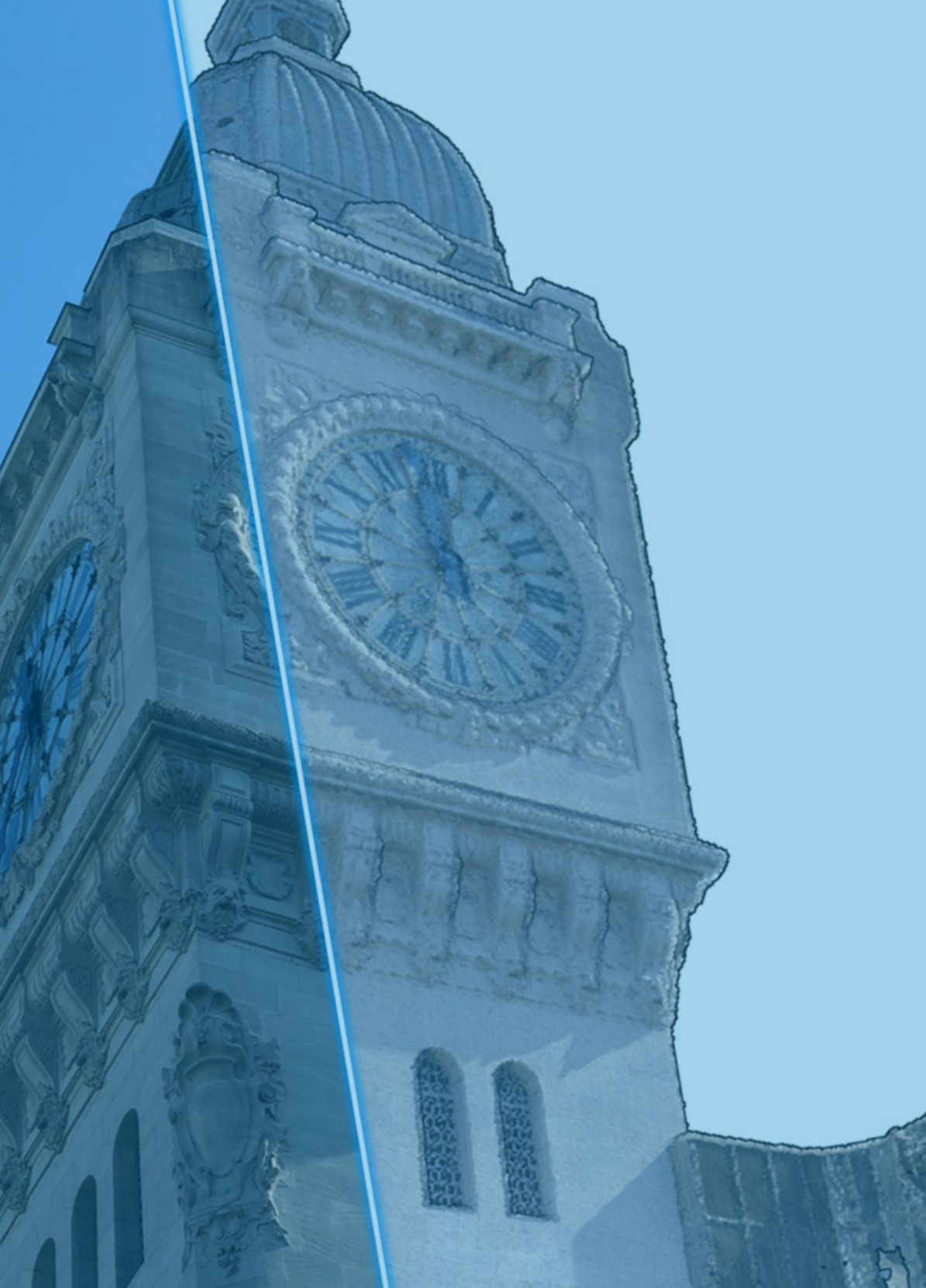
Vous n'arrivez pas à vous projeter concrètement dans ses cas d'application métier ? Vous vous demandez combien il faut investir pour voir un premier retour sur investissement ?

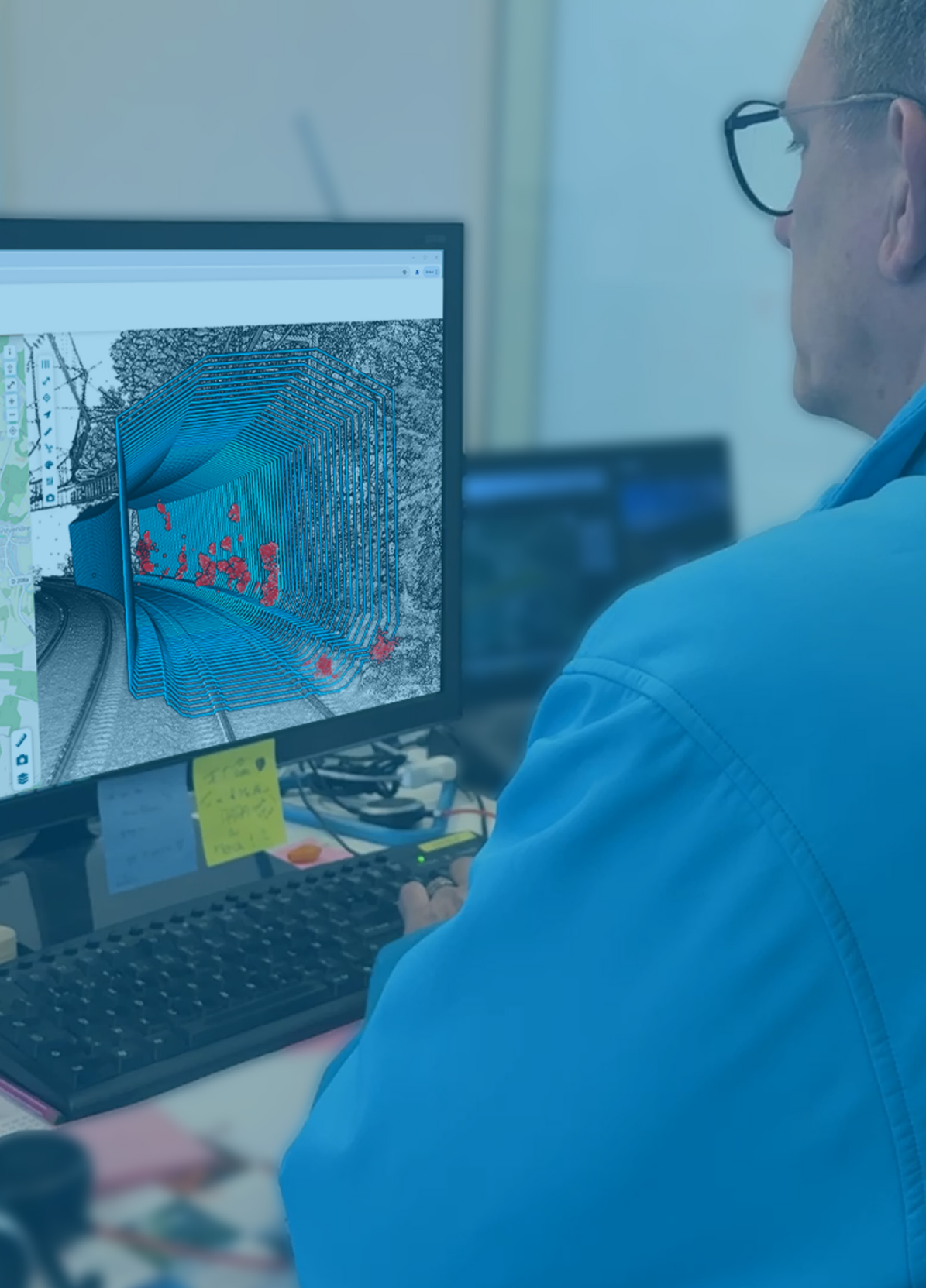
Découvrez quelques propositions concrètes dans ce livre blanc.

CHAPITRE 1

COMPRENDRE LE JUMEAU NUMÉRIQUE







Commençons par définir ce que nous considérons être un jumeau numérique.

Selon la définition purement technique, le jumeau numérique est **une réplique virtuelle d'un système physique** qui utilise des données en temps réel pour **reproduire les conditions et le comportement de son homologue physique**.

Il se distingue du modèle numérique qui est une représentation statique ou simplifiée.

De même, il se distingue de la simulation qui utilise ces modèles pour tester des scénarios dynamiques.

En fait le jumeau numérique combine modèles et simulations avec des données actualisées pour une interaction continue et une optimisation intelligente.

Ajoutons **qu'il permet de simuler et d'analyser divers scénarios ; facilite l'identification précoce des problèmes potentiels**.

Il fournit des informations objectives, précises et historisées sur l'état et l'évolution des infrastructures.

En cela il constitue un véritable patrimoine digital.

À terme, l'utilisation du jumeau numérique comme outil d'aide à la décision permet :

- ✓ de planifier les opérations de maintenance
- ✓ d'optimiser les opérations de maintenance
- ✓ d'augmenter la performance opérationnelle

Jumeau numérique : pourquoi le déployer ?

Le jumeau numérique s'est d'abord développé dans le secteur de la construction avec le BIM (Building Information Modeling) créant un univers numérique collaboratif, détaillé et multi-métier autour du design des bâtiments projetés.

Mais ses champs d'application s'étendent de plus en plus vers les actifs existants et donc vers les infrastructures en place pour lesquelles l'intérêt grandit.

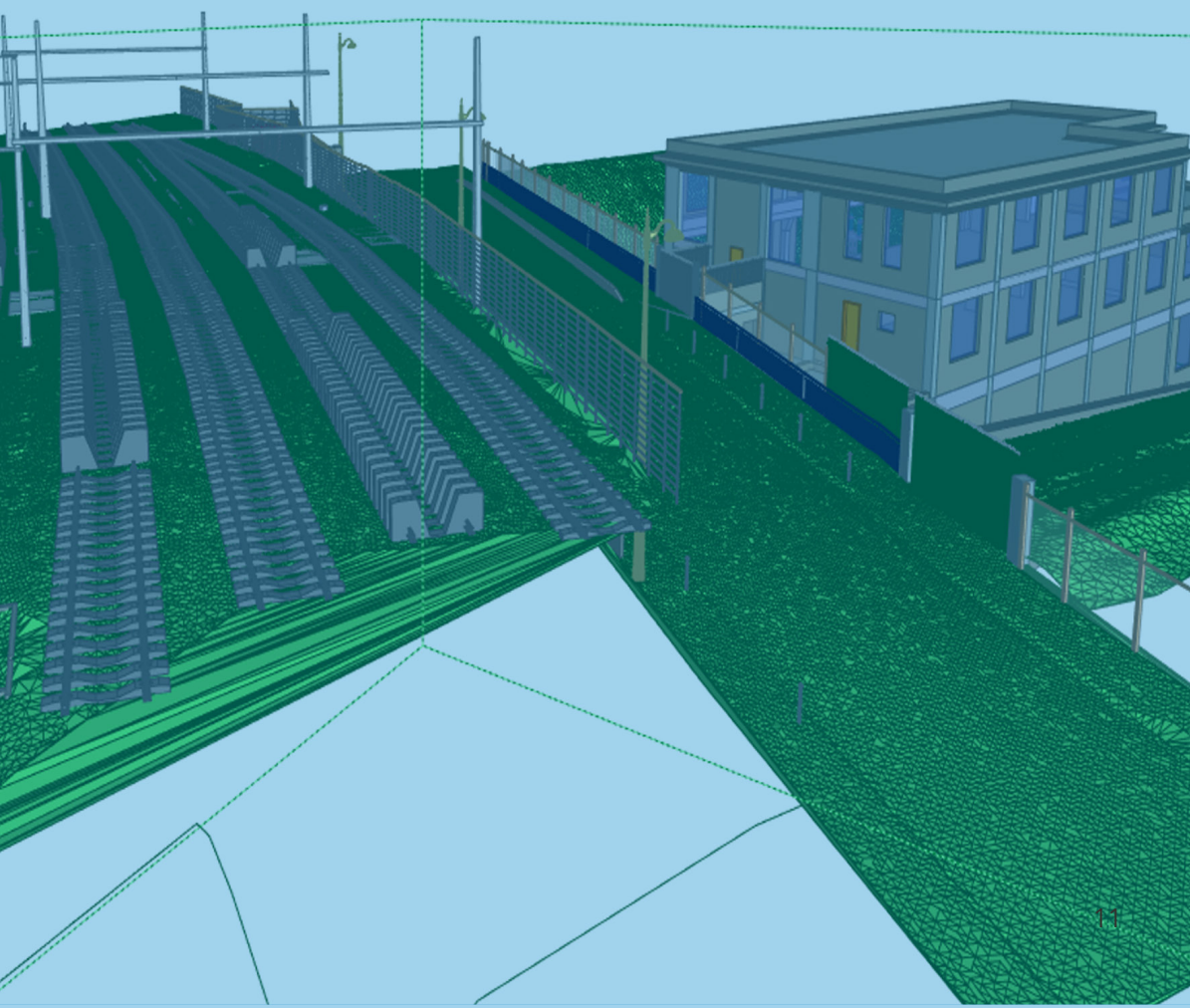
En effet, la connaissance globale de l'état réel des infrastructures, de ses composants voire de son environnement, de même que la possibilité de mettre en corrélation des informations de différente nature, permet de prendre des décisions plus éclairées tant pour la maintenance que l'exploitation des réseaux.

Selon une étude de McKinsey, les opérateurs industriels utilisant des jumeaux numériques ont constaté une **amélioration de 10-15% de l'efficacité opérationnelle grâce à une meilleure planification des horaires, à l'optimisation des itinéraires et à la gestion des ressources en temps réel.**

La SNCF par exemple a mis en place des jumeaux numériques pour ses systèmes de signalisation et de gestion du trafic, ce qui a conduit à une amélioration de **25% de la ponctualité des trains et à une réduction de 30% des incidents liés à la signalisation***.

*McKinsey «Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France»

*SNCF Digital Transformation Report



L'utilisation du jumeau numérique dans le domaine ferroviaire : entre défis et opportunités

Si dans l'absolu ils permettent de réduire les coûts d'exploitation grâce à la maintenance prédictive on constate que l'intégration des jumeaux numériques avec les systèmes existants **nécessite des investissements de départ substantiels en termes de technologie, d'infrastructure et de formation ce qui peut freiner leur déploiement massif.**

En fait, les infrastructures ferroviaires utilisent souvent des technologies hétérogènes, et l'interopérabilité entre ces systèmes n'est pas toujours au rendez-vous.

De même, la sécurité des données inhérentes au jumeau numérique constitue une préoccupation grandissante.

Particulièrement lorsqu'ils créent des flux de données continus et en temps réel ils sont vulnérables aux cyberattaques.

Pouvoir assurer la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des données sera crucial pour le succès des jumeaux numériques.

D'autant plus les chiffres montrent que l'adoption des jumeaux numériques va croître de façon importante dans les années à venir.

À mesure que les entreprises ferroviaires reconnaîtront ses avantages économiques et opérationnels ; mais aussi qu'elles seront soutenues par les politiques publiques qui encouragent leur utilisation.

Maintenance corrective

Elle intervient après la détection d'une panne ou d'une défaillance.

- Plus coûteuse
- Plus perturbante pour le service
- Risques supplémentaires si les réparations ne sont pas effectuées de manière rapide et efficace.

Maintenance préventive

Des vérifications et réparations régulières selon un calendrier établi pour détecter et prévenir les pannes avant qu'elles ne surviennent.

- ✓ Meilleure gestion des ressources humaines
- ✓ Gain de performance de l'infrastructure
- ✓ Disponibilité de l'infrastructure

Maintenance conditionnelle

Elle est basée sur l'état, utilise des données en temps réel et des technologies avancées pour surveiller l'état des équipements et effectuer des **interventions lorsque des anomalies sont détectées.**

- ✓ Réduction des coûts
- ✓ Amélioration de la sécurité
- ✓ Intervention uniquement lorsque cela est nécessaire

Maintenance prédictive

Elle utilise des algorithmes intelligents pour analyser les données de surveillance, simuler le comportement à venir et ainsi prédire les défaillances futures.

- ✓ Planification des interventions de manière proactive
- ✓ Réduction des temps d'arrêt
- ✓ Réduction des coûts

Pour que cette adoption soit la plus efficace possible il sera notamment nécessaire :

✓ De **favoriser la collaboration** entre les différents acteurs de l'industrie ferroviaire (opérateurs, fournisseurs de technologies, régulateurs etc.)

✓ Qu'une **normalisation des protocoles et des standards** facilitant l'interopérabilité émerge

Aujourd'hui les jumeaux numériques sont déjà utilisés pour la maintenance prédictive des infrastructures ferroviaires et celle du matériel roulant.

En intégrant des données provenant de différents types de capteurs ou de systèmes IoT (Internet des Objets), ils permettent de **surveiller en temps réel l'état des composants critiques, tels que les rails, les ponts, et les trains.**

Ce sont ensuite les algorithmes d'intelligence artificielle qu'on y ajoute qui permettent **l'analyse de ces données pour prévoir les défaillances potentielles, et planifier des interventions proactives pour réduire les temps d'arrêt.**



Par exemple, les modèles de simulation peuvent être utilisés pour **ajuster la vitesse des trains afin de minimiser la consommation de carburant tout en respectant les horaires.**

En simulant différents scénarios opérationnels, les opérateurs peuvent :

- ✓ Identifier les goulots d'étranglement
- ✓ Optimiser les horaires de train
- ✓ Améliorer l'efficacité énergétique

De même, jumeaux numériques offrent des environnements de simulation réalistes pour la formation du personnel.

Les conducteurs de train et les équipes de maintenance peuvent s'entraîner dans des conditions virtuelles, réduisant ainsi les risques et les coûts associés à la formation sur le terrain.

De plus, ces simulations peuvent être utilisées pour tester des protocoles de sécurité et des procédures d'urgence.



Techniques et technologies sous-jacentes à l'intégration du jumeau numérique

La création et l'exploitation efficace et rentable du jumeau numérique repose sur un élément clé : la donnée.

Il faudra donc déployer des techniques et technologies pour l'acquisition des données.

Plusieurs solutions d'acquisition de la donnée existent. Mais pour que le jumeau numérique soit vraiment source de performance et d'efficacité opérationnelle, **les méthodes d'acquisitions doivent être les moins intrusives possibles et impacter au minimum la capacité du réseau à fonctionner normalement.**

Les vecteurs d'acquisition de données les moins capacitaires testés et validés aujourd'hui sont :



L'hélicoptère

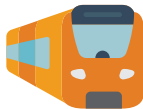
Ce système permet d'acquérir simultanément un nuage de points laser de haute densité et des images numériques à haute résolution. **Ce système préconisé pour des inspection sur d'importantes surfaces** (au-delà de 5 kilomètres) permet d'intervenir rapidement et de cartographier les infrastructures aussi bien de manière verticale qu'oblique.





Le drone

Suivant le type d'aéronef utilisé, il est possible de capter des images dans le domaine thermique et dans le domaine visible. **Il constitue également un œil déporté pour les besoins d'inspection en temps réel pour les agents de maintenance.** Il permet une inspection rapide et exhaustive sans interruption de l'activité sur des surfaces réduites.



Le train de mesures

Par leur capacité d'embarquer **de nombreux capteurs à très haute résolution**, les trains de mesure permettent de collecter de manière programmée et récurrente des données très détaillées sur la voie circulée et l'infrastructure adjacente, y compris dans les tunnels ou les sections couvertes, sans subir d'aléas météorologiques.



Les capteurs IoT

Les capteurs IoT sont essentiels pour collecter des données **en temps réel sur les infrastructures ferroviaires et les trains.** Ces capteurs mesurent divers paramètres, tels que les vibrations, la température, l'usure des rails et la performance des moteurs. Les données collectées sont ensuite transmises au jumeau numérique pour analyse.





Structuration de la donnée

Quel que soit le type de donnée, pour être capable de l'exploiter d'une façon rentable, il faut être capable d'y accéder de façon rapide et précise.

Pour cette raison, il est essentiel de structurer et d'organiser les données de manière logique cohérente et standardisée.

Cette démarche de structuration permet notamment d'automatiser les processus de traitement et d'entraîner des algorithmes de traitement des données.

Mais également de générer facilement des rapports et des statistiques.

De même, une donnée qualitative et structurée facilite le partage, la collaboration et l'interopérabilité.

Il faut que vos données soient lisibles et exploitables par la majorité des logiciels de bureautique classiques.

Il n'est donc pas nécessaire de la stocker dans un format spécifique, mais plutôt d'être capable de l'organiser et l'extraire de façon ciblée.

Transport des données

Les données nécessaires à la constitution du jumeau numérique sont tellement volumineuses qu'elles ne peuvent pas être simplement transférées sur Internet.

C'est un sujet qui doit être étudié en amont de la mise en place d'une démarche digitale pour la gestion des infrastructures industrielles car les volumes de données vont continuer de croître au fil du temps.

Différentes solutions existent : la création d'un réseau télécom privatif ; d'un réseau satellite propre ; transfert dans le cloud etc. Dans tous les cas, il est nécessaire que cette infrastructure soit suffisamment robuste.



Traitements métier

Puisque l'objectif est de permettre aux experts métier d'optimiser leurs opérations de maintenance, pour détecter des défauts ou des défaillances il est indispensable d'automatiser le traitement des volumes importants de données qui constituent le jumeau numérique.

Evidemment, les experts doivent définir le cahier des charges de la détection de défauts en commençant par caractériser les différents types de défauts à rechercher.

Ensuite, ce sont les algorithmes d'intelligence artificielle (IA) et d'apprentissage automatique (ML) qui permettent de réaliser l'analyse des données et la prédiction des défaillances. Ils permettent de détecter des schémas complexes et des anomalies qui pourraient passer inaperçus lors d'analyses traditionnelles.

Visualisation et partage

Pour que le jumeau numérique soit véritablement exploitable, sa visualisation doit être intuitive et accessible au plus grand nombre. Elle doit permettre de comprendre rapidement l'état du système ou de l'objet représenté.

La visualisation être suffisamment détaillée et précise pour représenter fidèlement le système ou l'objet réel. Cela nécessite des modèles 3D.

Les jumeaux numériques doivent pouvoir être utilisés autant par des experts techniques que par des non-spécialistes. L'interface doit donc être adaptable pour répondre aux besoins variés des différents utilisateurs.

Cependant, tous les utilisateurs n'ont pas nécessairement besoin du même niveau d'accès aux données du jumeau numérique. Il est donc crucial de mettre en place des systèmes de gestion des droits d'accès pour contrôler qui peut voir, modifier, ou interagir avec différentes parties du jumeau numérique.



Le saviez-vous ?

Depuis 2021, la plateforme Altametris Suite permet de stocker, traiter visualiser et partager les données du jumeau numérique industriel.

Vous souhaitez en savoir plus ?

Contactez : serviceclient@altametris.com

A person with glasses is seen from the side, working at a desk. On the desk is a laptop and a tablet. The laptop screen shows a 3D model of a railway track with a crane. The tablet shows a mobile app interface. The entire image has a blue tint.

CHAPITRE 2

EXPLOITER PLEINEMENT LE POTENTIEL DU JUMEAU NUMÉRIQUE



QUE

A table is visible at the bottom of the document. It has two main columns: "NAME" and "VALUE". The table contains several rows of data, with some cells highlighted in light blue. The text is somewhat faded, but the structure is clear.

	NAME	VALUE
1	Accounting	Accounting
2	Marketing	Marketing
3	Finance	Finance
4	Operations	Operations
5	Human Resources	Human Resources

```
4 # Prevent database truncation if the environment is production
5 abort("The Rails environment is running in production mode!")
6 require 'spec_helper'
7 require 'rspec/rails'
8
9 require 'capybara/rspec'
10 require 'capybara/rails'
11
12 Capybara.javascript_driver = :webkit
13 Category.delete_all; Category.create
14 Shoulda::Matchers.configure do |config|
15   config.integrate do |with|
16     with.test_framework :rspec
17     with.library :rails
18   end
19 end
20
21 # Add additional requires below this line. For example, if you
22 # require supporting ruby files with classes under spec/support/
23 # spec/support/ and its subdirectories. These files will
24 # run as spec files by default. This way, they are
25 # in _spec.rb will both be required and run
26 # run twice. It is recommended that you
27 # end with _spec.rb. You can configure the
28 # option on the command line as follows:
29
30 No results found for 'mongoid'
```

On l'a vu, déployer le jumeau numérique pour la gestion des infrastructures industrielles nécessite de mettre en place certains changements, et vous vous dites peut-être qu'atteindre un tel niveau d'excellence est hors de votre portée ?

Que les investissements sont trop lourds ? Que votre direction ne vous suivra pas ? Que vous n'aurez pas le budget ? Que vous ne serez pas capable d'en démontrer la rentabilité à court terme ?

Détrompez-vous !

En réalité, l'adoption du jumeau numérique peut doit se faire de façon progressive et être rentable dès le début.

Pour vous aider à exploiter pleinement le potentiel du jumeau numérique, nous vous livrons 5 conseils simples pour vous aider à vous lancer :

- 1** Commencez le plus tôt possible à construire votre jumeau numérique
- 2** Adoptez une stratégie de valorisation progressive de vos assets digitaux
- 3** Capitalisez sur les données existantes
- 4** Mutualisez les traitements pour différents usages de vos données
- 5** Adoptez des technologies et outils rentables



Commencer **le plus tôt possible** à construire son jumeau numérique

On l'a dit l'enjeu central du déploiement du jumeau numérique, c'est la donnée. Une donnée qualitative, structurée, stockée, partagée, mais **surtout une donnée en quantité suffisante**.

Pour être capable d'automatiser le traitement des données, d'entraîner des algorithmes, pour ensuite faire de la maintenance conditionnelle ou même prédictive **il faut disposer de suffisamment de matière** concernant les états successifs de l'infrastructure.

Plus vous commencerez tôt votre démarche digitale plus l'historique de données que vous aurez accumulé vous permettra de remonter loin dans le passé. Vous pourrez ainsi réaliser des analyses, des comparaisons et mêmes des prédictions sur l'évolution de vos infrastructures en tirant parti d'une plage de temps plus étendue. **Finalement plus tôt vous commencerez, plus vous maximisez la valeur que vous tirerez de votre patrimoine digital.**

En effet puisque l'un des avantages principaux du jumeau numérique est de suivre l'état de vos installations dans le temps, et de permettre de revenir à une situation antérieure, ce que son jumeau physique ne permet pas, vous devez commencer le plus tôt possible, c'est-à-dire dès maintenant !

Et même s'il n'est pas possible de capter les données de l'ensemble de vos infrastructures dès maintenant, adopter une démarche progressive sera probablement plus rentable que d'attendre de pouvoir tout faire d'un coup.



Adopter une stratégie de **valorisation progressive** de ses assets digitaux

Vous n'avez pas besoin d'avoir construit le jumeau numérique de 100% de vos infrastructures pour que celui-ci soit rentable.

Suivant la nature et la criticité de certaines infrastructures, le déploiement prioritaire du jumeau numérique pour certains usages peut permettre de faire un saut de performance tel qu'il génère des économies significatives.

Les économies générées par chaque brique du jumeau numérique que vous allez construire vous permet de financer la suivante.

Par exemple, la maîtrise de la végétation aux abords des voies est le deuxième de poste de coûts de maintenance le plus élevé pour SNCF Réseau.

En construisant le jumeau numérique d'une portion de ligne et en réalisant des modélisations de chutes d'arbres basées sur l'essence des arbres, la vitesse de pousse, l'analyse des pentes des sols ; il a été possible de caractériser uniquement la végétation menaçante pour la circulation.

Cela a ainsi permis de réduire drastiquement le budget d'élagage en priorisant uniquement sur les zones problématiques.

Notons qu'il est plus coûteux et complexe d'abattre un chêne de 15 mètres de haut sur un terrain très escarpé que sur d'abattre un lot d'arbustes sur terrain plat.



Capitaliser sur les moyens et les données existantes

Au lieu de concevoir un jumeau numérique complet dès le départ, vous pouvez commencer par des versions simples et ajouter progressivement des fonctionnalités en réutilisant et en adaptant les moyens existants.

Les données collectées via vos systèmes de gestion (ERP, GMAO, IoT, etc.) peuvent être intégrées directement dans le jumeau numérique, en complément de nouvelles sources de données.

En plus, utiliser vos données historiques permettra de nourrir votre jumeau numérique pour créer des modèles prédictifs et des simulations plus précises.

De plus, n'hésitez pas à **impliquer les experts techniques** et ingénieurs de votre organisation qui connaissent déjà les systèmes et les processus internes. Ils doivent adhérer, être formés et impliqués dans le développement et la gestion du jumeau numérique.

De même, **adaptez vos systèmes d'information existants** pour qu'ils communiquent efficacement avec le jumeau numérique, en vous appuyant sur des API et des middlewares déjà déployés dans votre entreprise.

Enfin, **travaillez avec des partenaires technologiques aguerris** aux enjeux du jumeau numérique ferroviaire. Leur expertise peut faciliter la mise en place rapide et efficace du jumeau numérique à votre activité.



Mutualiser les traitements pour différents usages de ses données

La complexité des données digitales comme les nuages de points implique qu'elles sont très volumineuses, mais surtout cela signifie aussi que ces données sont très riches.

En mutualisant les traitements, vous pouvez **éviter la duplication des commandes** sur une même zone. Un seul ensemble de processus peut être utilisé pour différents besoins et les investissements peuvent être amortis sur plusieurs projets ou services.

De même la centralisation des traitements favorise **l'uniformité des données utilisées ce qui minimise les erreurs** dues à des divergences entre plusieurs versions de la même donnée.

Vous pourrez mettre en place une **meilleure gouvernance des données**, instaurer des règles de gestion des données uniformes, assurant ainsi un standard de qualité.

En mutualisant les traitements, les données sont prétraitées de manière standardisée, ce qui permet d'obtenir des informations plus rapidement pour différents usages.

Les modèles de traitement des données créés pour un projet **peuvent être facilement adaptés pour d'autres usages**. La mutualisation permet aussi de casser les silos entre les départements. Les données traitées peuvent être facilement partagées et exploitées par différents services, favorisant la collaboration et l'innovation collective.

La mutualisation permet également de **mieux tracer les usages des données**.



Adopter des technologies et outils rentables

Adopter des technologies rentables pour les jumeaux numériques implique une planification stratégique, une sélection rigoureuse des technologies et des outils, et une attention constante à l'intégration et à l'optimisation. En se concentrant sur les objectifs spécifiques, en utilisant des infrastructures évolutives et en maximisant l'efficacité des processus

Adopter une infrastructure cloud permet de réduire les coûts liés à l'achat et à la maintenance de serveurs physiques tout en offrant une scalabilité et une flexibilité importante.

Collaborer avec des partenaires technologiques qui possèdent une expertise dans les jumeaux numériques peut réduire les coûts de développement et d'intégration. Des partenariats avec des fournisseurs de solutions ou des intégrateurs peuvent également offrir des conditions plus avantageuses.

Miser sur des solutions technologiques qui bénéficient de mises à jour régulières.

Les technologies évoluent rapidement, et il est important de mettre à jour régulièrement les jumeaux numériques pour profiter des dernières innovations, tout en évaluant constamment leur impact sur les coûts et les bénéfices.

Privilégiez des solutions faciles à implémenter et qui nécessitent peu de formation. Enfin assurez-vous que vos équipes comprennent comment exploiter au mieux le jumeau numérique est essentiel pour maximiser son ROI.





CHAPITRE 3

DÉPLOIEMENT CONCRET DU JUMPE NUMERIQUE CHEZ SNCF RÉSEAU

EAU



Le réseau ferroviaire français est l'un des plus vastes et les plus denses d'Europe. Il s'étend sur 47 000 kilomètres de voie. L'inspection régulière et la maintenance de celui-ci sont donc des enjeux prioritaires.

Le déploiement progressif du jumeau numérique pour détecter, classer et géolocaliser les défauts et anomalies a permis de :

✓ Limiter l'exposition au risque des agents

✓ Gagner du temps

✓ De mettre en place des opérations de maintenance ciblées, efficaces et rapides

grâce à l'analyse des données images et LiDAR notamment.



Qu'est-ce qu'un LiDAR ?

« light detection and ranging » ou « laser imaging detection and ranging » (soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière » ou « par laser »), est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.

Un lidar est donc un système opto-électronique composé d'un émetteur laser, d'un récepteur comprenant un collecteur de lumière et un photodétecteur qui transforme la lumière en signal électrique, ainsi que d'une chaîne électronique de traitement du signal qui extrait l'information recherchée.



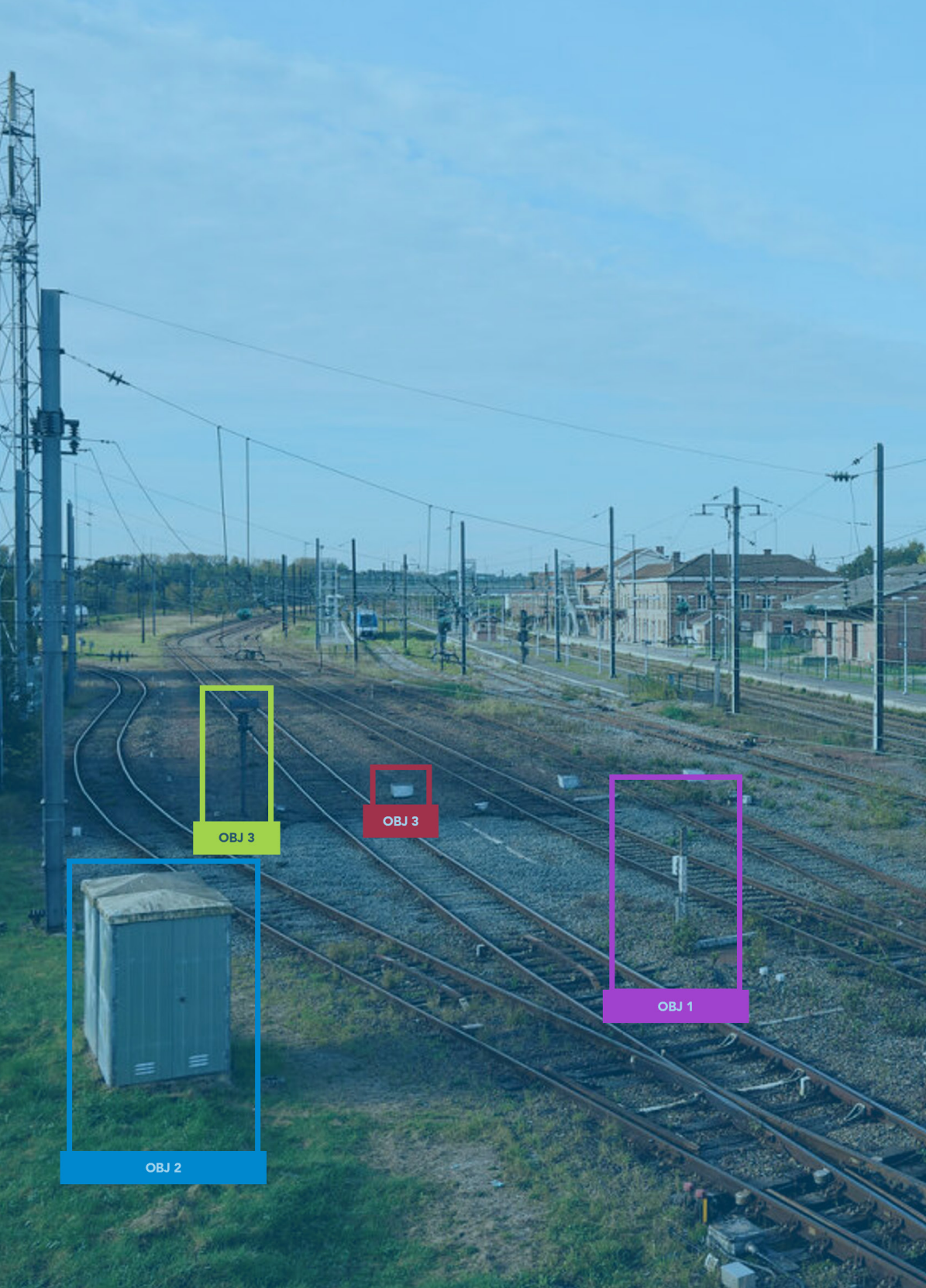
ESV 702 équipé du système d'acquisition LiDAR VMX Rail

SNCF Réseau dispose d'une flotte de trains appelés Engins de Surveillance de la Voie (ESV) équipés de capteurs de mesure LiDAR et de caméras.

Ils contrôlent les lignes classiques toutes les huit semaines. Ils rendent accessible une donnée exhaustive et constamment mise à jour.

Les données principalement exploitées pour effectuer les analyses gabarit sont les données LiDAR issues des ESV.

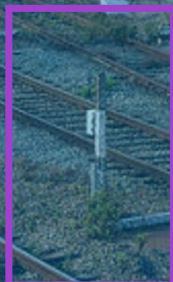
Ces nuages de points fournis par une chaîne de traitement incluant plusieurs phases de contrôle qualité présentent une forte densité (plusieurs centaines de points/m²) et une précision relative centimétrique.



OBJ 3



OBJ 3



OBJ 1



OBJ 2

Automatiser la détection de défauts sur les objets télécom aux abords des voies

Les tournées pédestres étant à la fois chronophages, coûteuses et perturbatrices pour le fonctionnement du réseau ferré, l'inspection des objets télécoms qui bordent les voies ne peut être réalisée qu'une ou deux fois par an pour couvrir la totalité des 44 000 L'utilisation du jumeau numérique dans ce domaine vise à automatiser les détections de changement l'état des installations en capitalisant sur une donnée disponible régulièrement.



Besoin du client

Détection des dalles, caniveaux à câbles, téléphones de voies, guérites manquants ou endommagés ; trappes ouvertes ; grillage troué ; glissement de terrain aux abords des voies



Type de données analysées

Images et nuages de points
LiDAR 3D



Méthode d'acquisition des données

Train de mesure



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

Création et entraînement de 3 briques algorithmiques pour :

1

- o La détection des objets aux abords des voies ferrées.
- o Le suivi des objets (Multiple Object Tracking)
- o Caractériser le changement d'état des installations

2

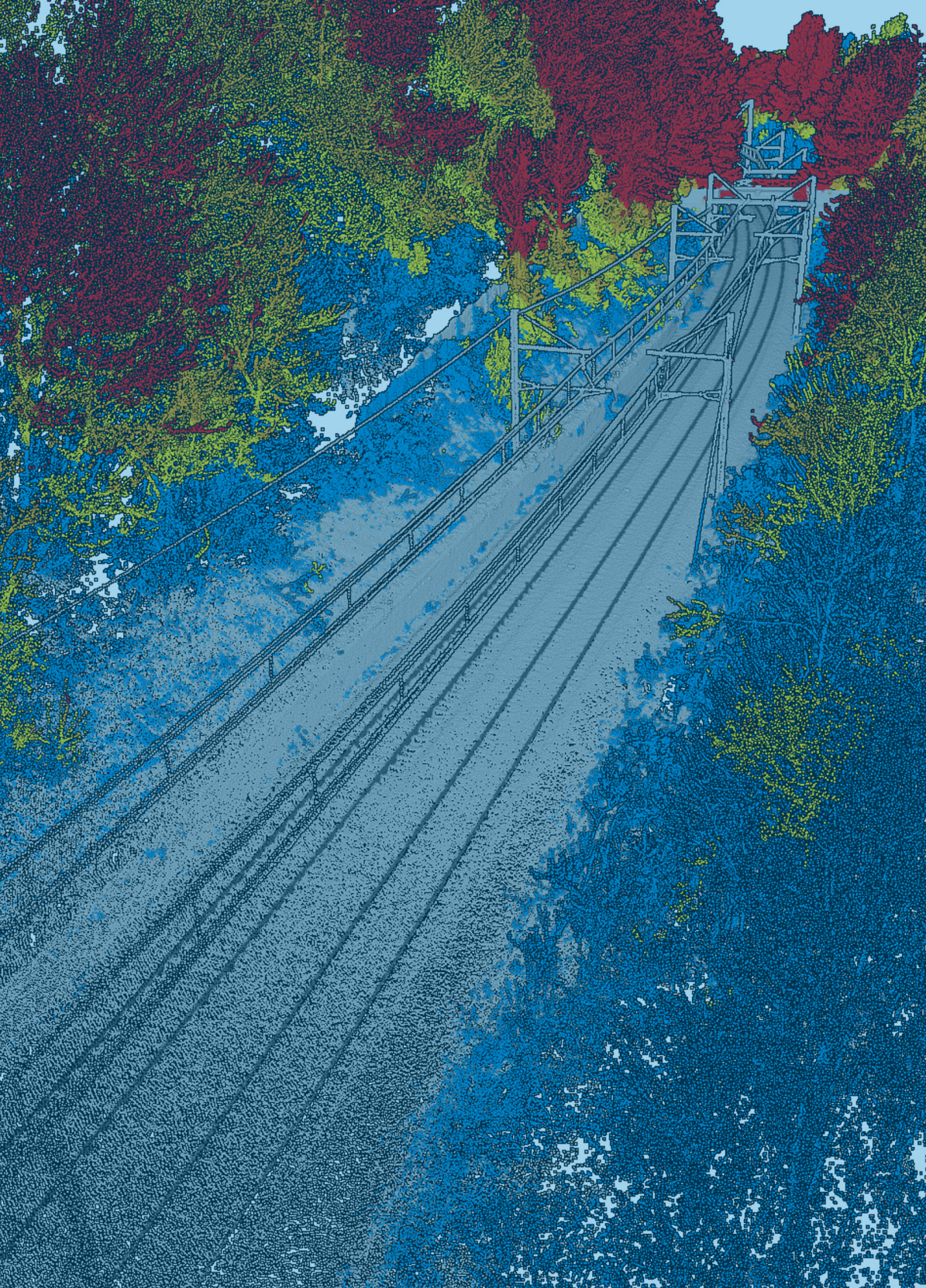
Segmentation des nuages de points pour l'analyse des données et la détection des objets tridimensionnels

3

Évaluation des performances du modèle de détection (proportion d'objets cibles détectés correctement par le modèle)



- ✓ 100 kilomètres de voie analysé en quelques secondes contre plus de 20 heures en tournée pédestre
- ✓ 99.5% des détections sont correctes
- ✓ 7,75 kilomètres de voie analysés 221 objets détectés et classifiés
- ✓ 98,4% de précision dans la détection des anomalies



Caractériser la végétation dangereuse aux abords des voies

Les tournées pédestres étant à la fois chronophages, coûteuses et perturbatrices pour le fonctionnement du réseau ferré, l'inspection des objets télécoms qui bordent les voies ne peut 8 000 heures de retards de train et 120 millions d'euros de budget annuel, c'est la charge que représente la végétation pour SNCF Réseau.



Besoin du client

Optimiser les opérations de maintenance de la végétation.



Type de données analysées

Nuages de points LiDAR 3D



Méthode d'acquisition des données

Train de mesure *ESV*



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

1

Analyse de l'inclinaison des pentes et des sols

2

Classification de l'inclinaison des pentes et des sols

3

Classification des différentes zones aux abords des voies (déblais, remblais, bande de proximité, abords)

4

Analyse des hauteurs de végétation (basse, moyenne, haute)

5

Détection de la végétation proche de la caténaire (danger immédiat à moins d'un mètre)

6

Modélisation de chutes d'arbres



Gain pour le client

- ✓ Valoriser les données ESV déjà disponibles
- ✓ Faciliter la budgétisation et l'organisation de l'élagage
- ✓ Pouvoir anticiper les chutes d'arbres
- ✓ Être capable d'appliquer un traitement spécifique en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque arbre : taille du tronc, essence de l'arbre etc
- ✓ Pouvoir élaguer uniquement les arbres sensibles sans avoir à déboiser de façon excessive
- ✓ Avoir une vue d'ensemble de leurs installations et de naviguer facilement sur toute leur surface
- ✓ Réduire les coûts liés aux accidents éventuels qui pourraient survenir à cause d'une chute d'arbre sur les voies
- ✓ Faire un suivi diachronique de l'état de la végétation à l'instant T et ensuite quelques mois plus tard pour détecter les pousses rapides
- ✓ Optimiser la disponibilité des agents terrain qui peuvent se focaliser sur les zones problématiques



UN TRAIN PEUT
EN CACHER
UN AUTRE

Caractériser la dangerosité des passages à niveaux

Les passages à niveau qui sont au croisement d'une route avec une ou voie ferrée peuvent être de largeurs variables.

Une difficulté de franchissement augmente les risques qu'un véhicule se retrouve immobilisé au milieu du passage à niveau. Ce qui peut donner lieu à des accidents graves et impacter lourdement le trafic sur la ligne.



Besoin du client

Identifier les difficultés de franchissement par les véhicules routiers



Type de données analysées

Nuages de points LiDAR 3D



Méthode d'acquisition des données

Train de mesure ou
voiture de mesure



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

1

Création de profils altimétriques au format TIPULES (propre à la SNCF) : par extraction de l'altitude de chaque point du profil

2

Représentation du profil en long de l'axe de chaque voie de circulation traversant les voies ferrées

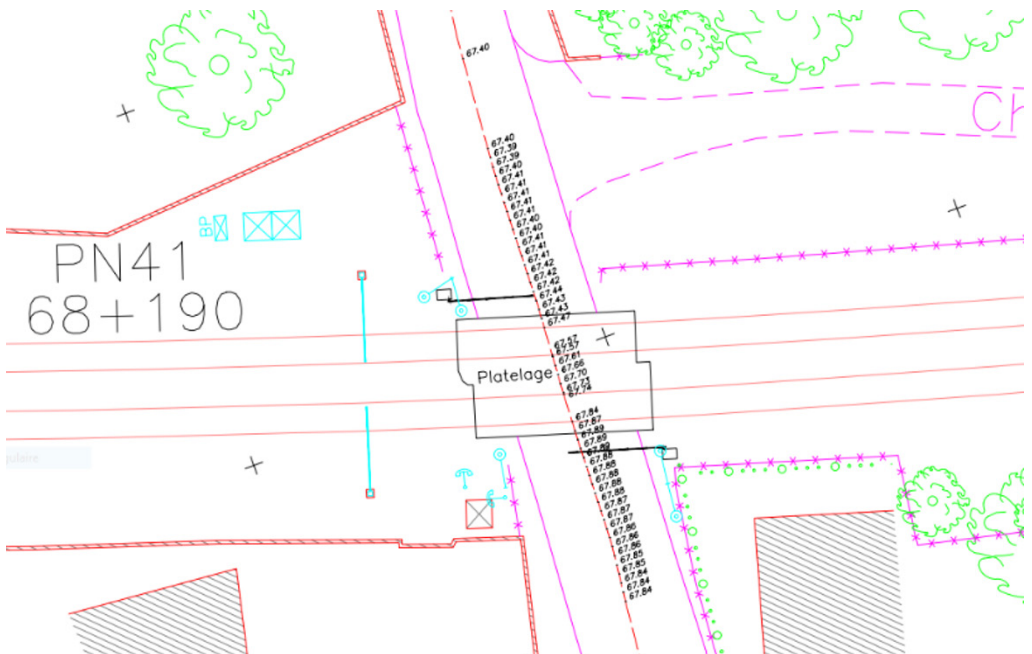
3

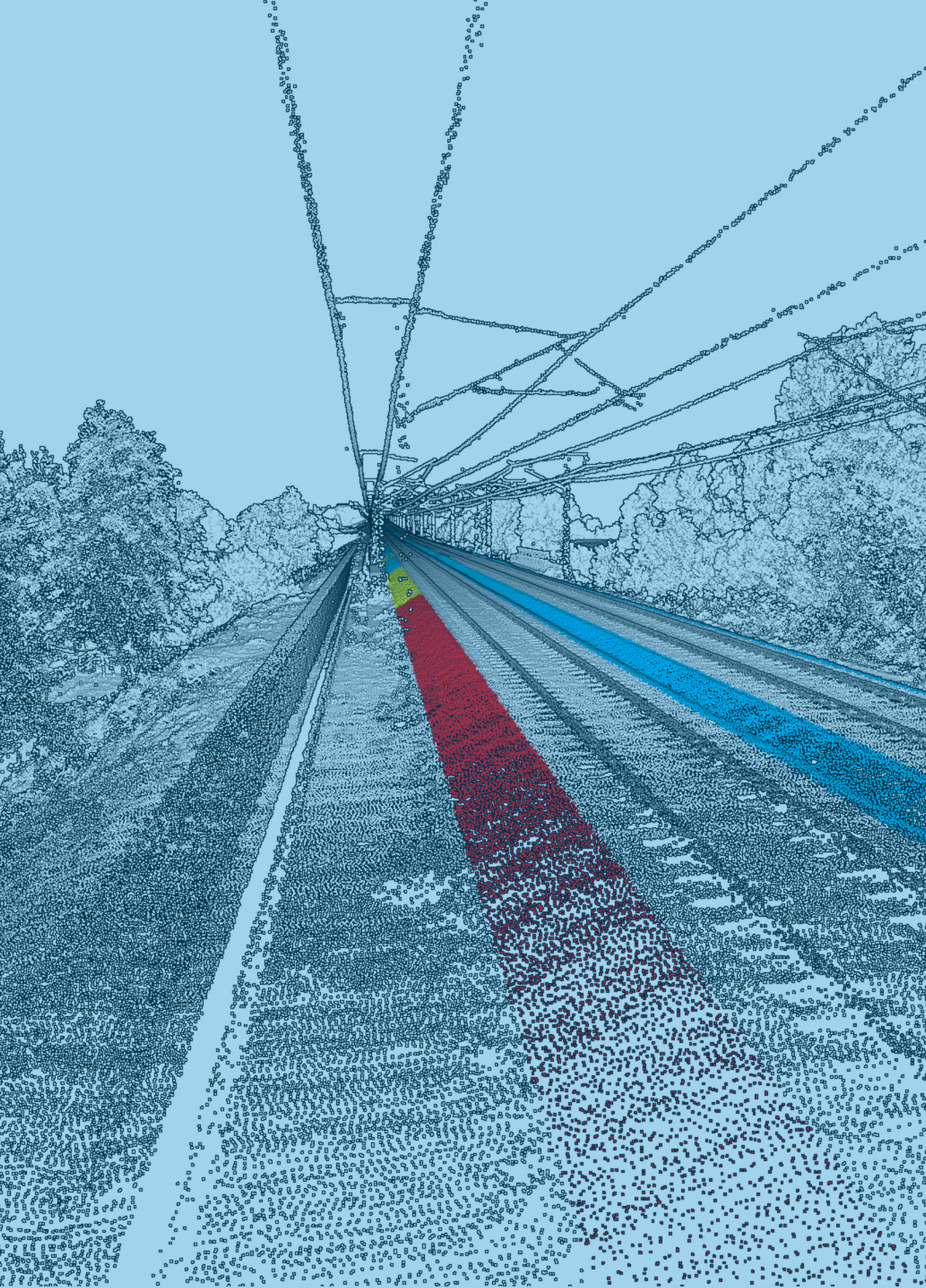
Réalisation d'un plan topographique du passage à niveau et de ses abords



Gain pour le client

- ✓ Identifier les passages à niveaux présentant des risques
- ✓ Identifier la présence de points de frottements potentiels entre les points bas des véhicules et la chaussée
- ✓ Visualiser l'environnement autour du passage à niveau (voirie, limites de propriétés, bâtiments, etc.)





Vérifier la conformité des profils de ballast

Les opérations de ballastage et régaling, nécessaires pour la stabilité et la pérennité de la voie, représentent un montant important de dépenses pour SNCR Réseau.

À titre d'exemple, en 2019, les dépenses sur ce sujet atteignent 67 millions d'euros dont 61 directes.



Besoin du client

Garantir la stabilité des voies et réduire les coûts liés à l'utilisation du ballast



Type de données analysées

Nuages de points LiDAR 3D



Méthode d'acquisition des données

Train de mesure ESV



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

1

Extraction des rails : vectorisation de la voie circulée

2

Traitement des nuages de points 3D grâce aux algorithmes d'Intelligence Artificielle

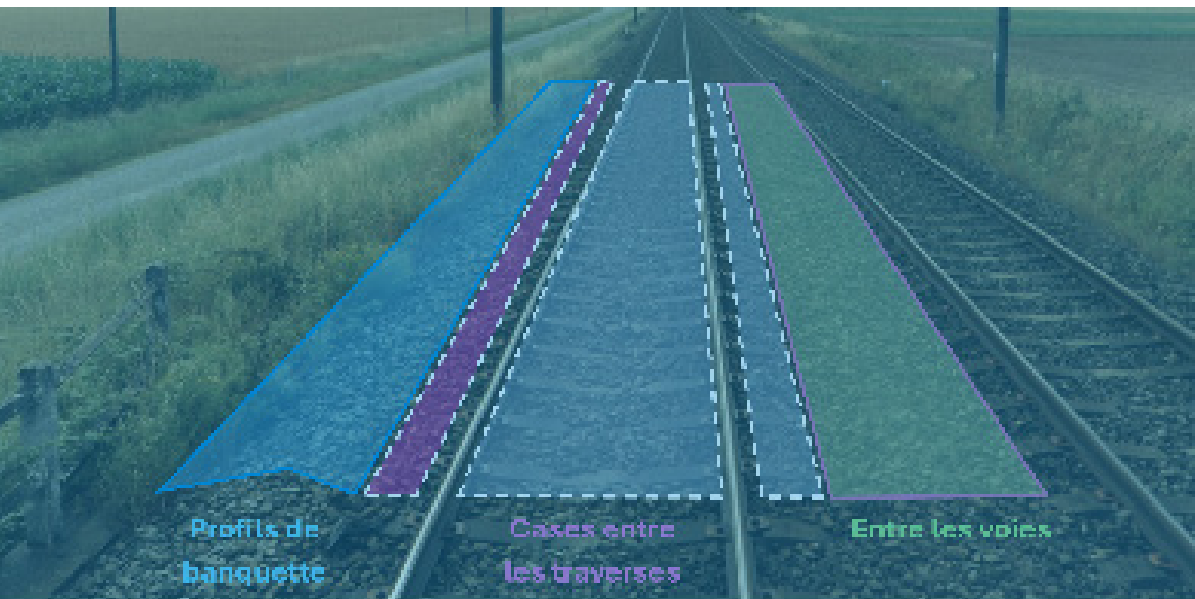
3

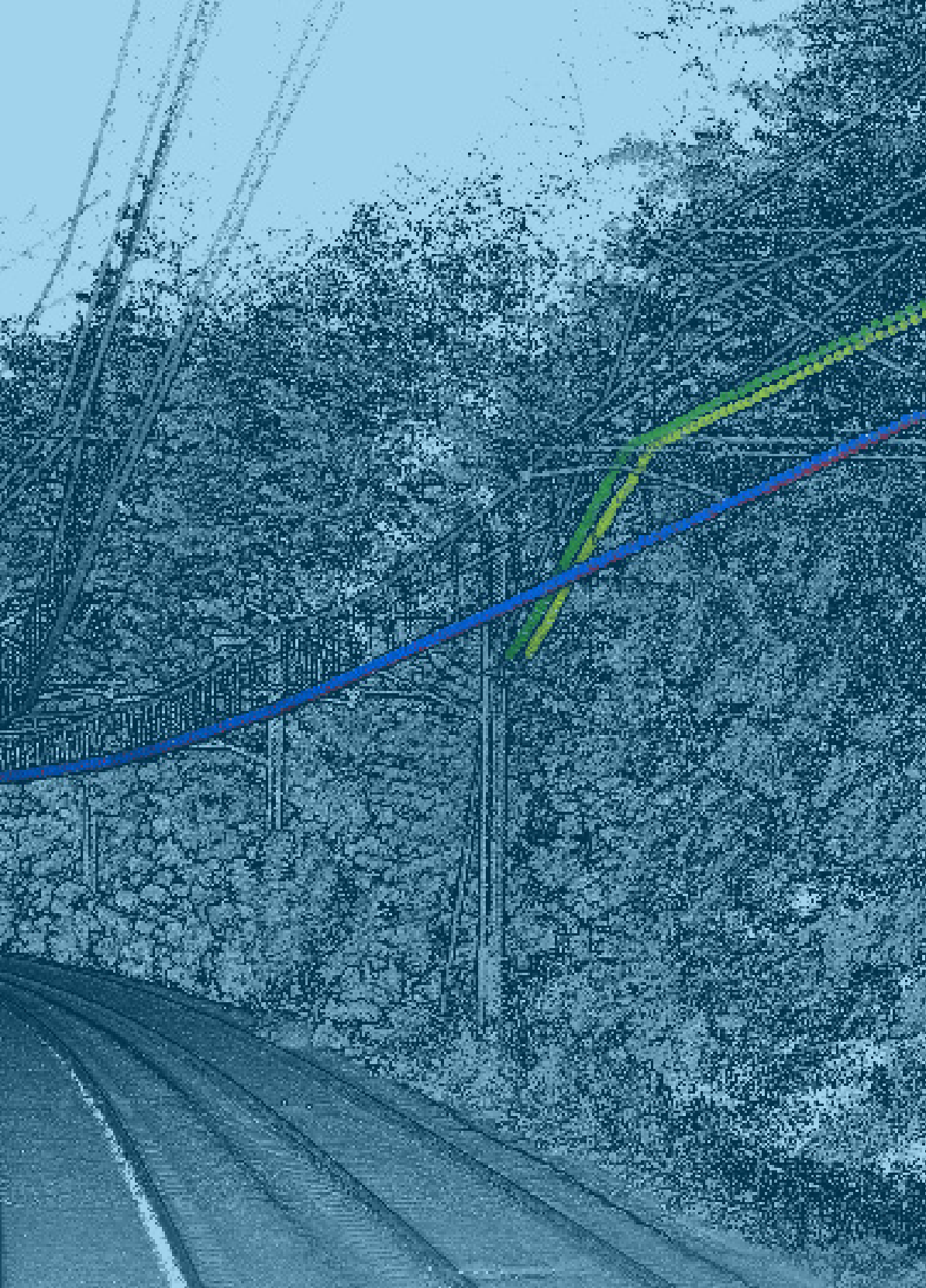
Étude de conformité de la quantité de ballast par comparaison entre le niveau théorique et le niveau réel mesuré sur le profil de banquettes, les cases, l'entre-voies



Gain pour le client

- ✓ Disposer d'une connaissance fine de l'état des niveaux de ballast sur les lignes : zones de manque et zones de surplus
- ✓ Mieux cibler les opérations de maintenance
- ✓ Rationnaliser les dépenses par la gestion optimisée des quantités de ballast utilisées :
 - Meilleure préparation des chantiers de bourrage
 - priorisation des opérations de régalaie mécanique
 - la réduction des opérations de ballastage (4 X plus cher que régalaie)





Mesurer la géométrie caténaire

Le courant électrique de traction, fourni par des sous-stations réparties le long de la voie, est transporté par une ligne aérienne de traction jusqu'à l'engin moteur ou il est capté par l'archet du pantographe frottant sur les fils de contact.

Le contact entre la ligne aérienne de traction et une circulation devant être assuré en permanence, il est important de connaître précisément la position géométrique des fils de contact par rapport à la voie, ainsi que les positions relatives des fils de contact dans des zones complexes.



Besoin du client

Connaître au repos la position géométrique (la hauteur et le désaxement) du ou des fil(s) de contact composant la caténaire, par rapport à la voie et connaître la position géométrique au niveau des supports caténaires.



Type de données analysées

Nuages de points LiDAR 3D



Méthode d'acquisition des données

Train de mesure *ESV*



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

Identification et extraction échantillonnée de la position des fils de contact caténaire sur l'ensemble de la voie

1

2

Extraction des points d'attache

3

4

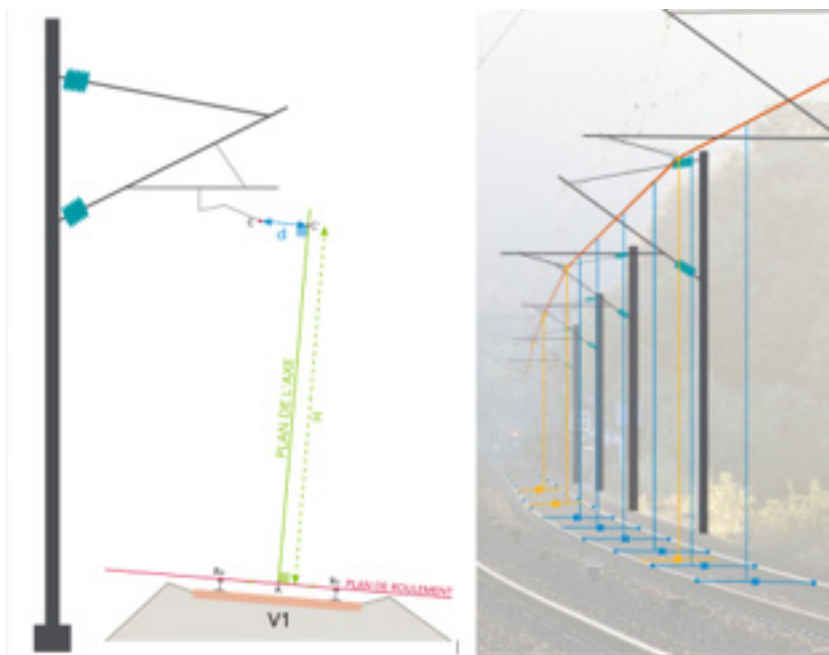
Mesure de la hauteur et du désaxement de chaque fil de contact

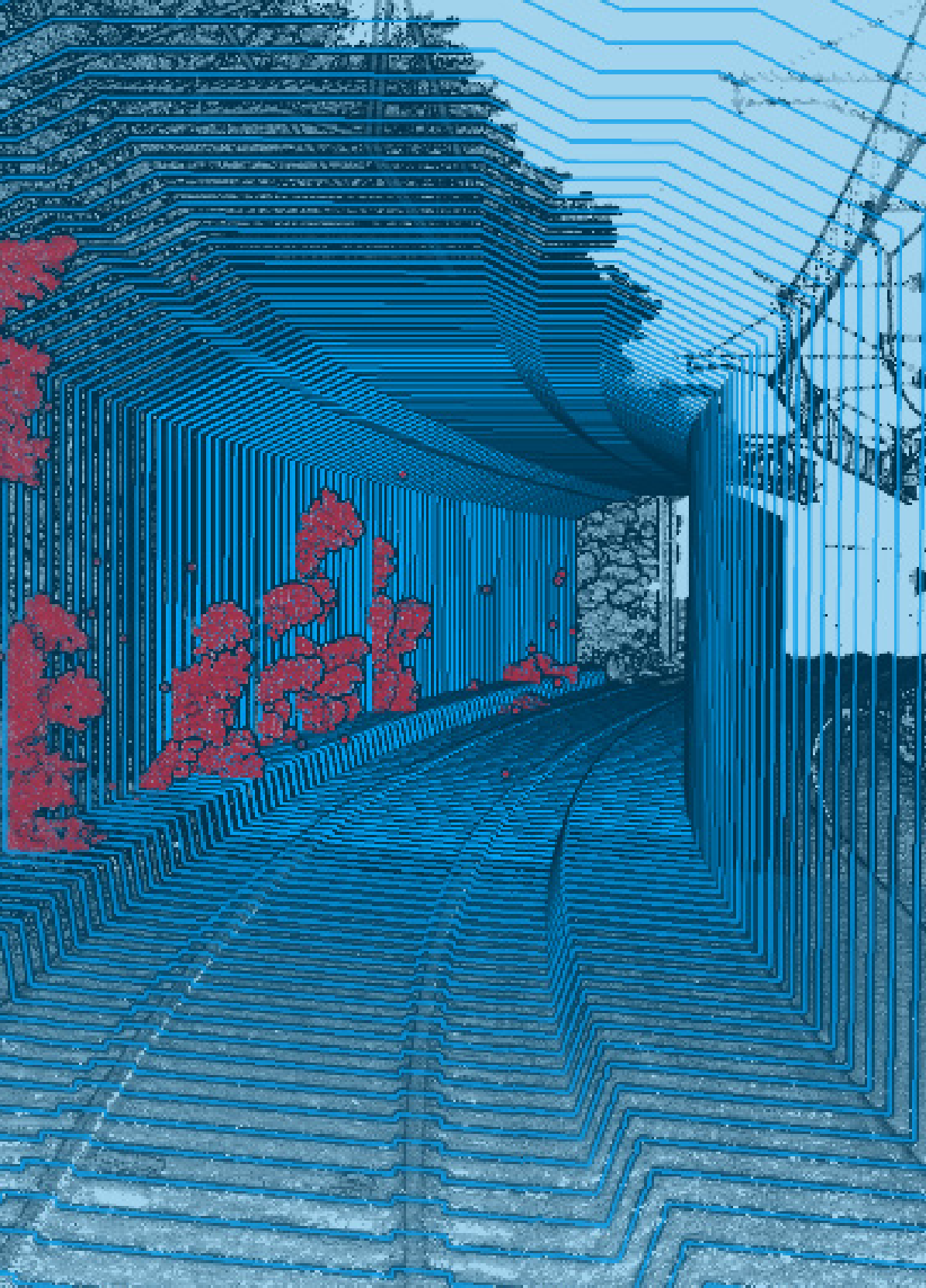
Identification du numéro des supports pour associer chaque point d'attache au numéro de poteau correspondant



Gain pour le client

- ✓ Intervenir avec précision sur les portions de lignes identifiées comme problématique
- ✓ Limiter au maximum l'exposition des agents en zone dangereuse
- ✓ Optimiser les interventions grâce à un suivi précis et objectif : donnée à forte densité et précision relative centimétrique disponibles régulièrement





Analyser les gabarits ferroviaires

Gestion des débouchés et gabarits ferroviaires ; détection des obstacles aux contours N et N majoré (en fonction des lignes), des obstacles bas, de ceux liés aux fils de contact caténaire, ainsi que des mesures d'entraxe.



Besoin du client

Connaître au repos la position géométrique (la hauteur et le désaxement) du ou des fil(s) de contact composant la caténaire, par rapport à la voie et connaître la position géométrique au niveau des supports caténaires.



Type de données analysées

Nuages de points LiDAR 3D



Méthode d'acquisition des données

Train de mesure ESV



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

1

Extraction des rails :
vectorisation de la
voie circulée

2

Recensement des gabarits
d'implantation nominale
des obstacles hauts et bas
de la voie

3

Mesures d'entraxe des
voies

4

Modélisation de
passage du matériel
roulant

5

Détection des obstacles
liés aux fils de contact
caténaire et à la ligne
aérienne de contact

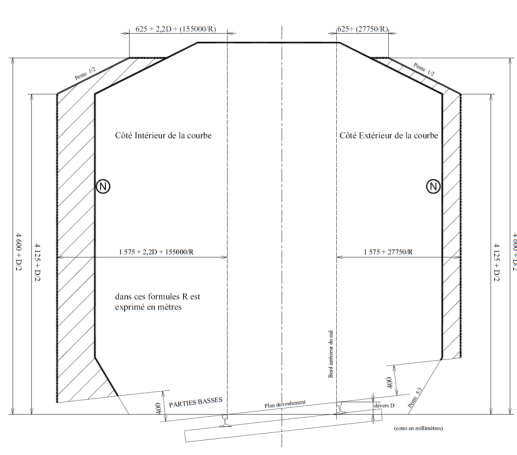
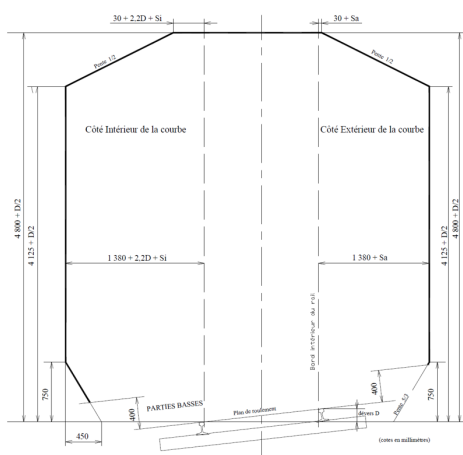
6

Localisation et
caractérisation des obstacles
gabarit dans la base de
données patrimoniale GAIA



Gain pour le client

- ✓ Mieux cibler les zones d'intervention
- ✓ Minimiser la durée d'indisponibilité
- ✓ Optimiser les ressources humaines et financières à mobiliser
- ✓ Optimiser les coûts de traitement, en mutualisant les ressources d'extraction et de contrôle des fils de contact





Diagnostiquer les parois rocheuses et revêtues

Chutes de pierres et de blocs rocheux, glissements de terrain, érosion... les versants rocheux situés à proximité des voies ferrées présentent des risques qui peuvent avoir de graves conséquences sur la sécurité des circulations, des passagers et des agents ferroviaires : obstruction de la voie, endommagement des infrastructures ou déraillement.

Pour prévenir ces risques, la surveillance régulière de ces installations est primordiale.



Besoin du client

Assurer la mise en sécurité des versants et déblais rocheux.



Type de données analysées

Images et nuages de points 3D



Méthode d'acquisition des données

Drone équipé de capteur LiDAR



Méthode d'utilisation du jumeau numérique

- 1 30 minutes de vol sur 1 kilomètre de large et 500 mètres de haut tous les 3 mois
- 2 Création d'une orthophotographie et d'un plan topographique d'élévation 2D
- 3 Identification des désordres ou anomalies de nature à impacter le réseau ferroviaire



Gain pour le client

- ✓ Pouvoir effectuer des levées de doute sur des zones non débroussaillées ou à des hauteurs inaccessibles sans EPI spécifiques
- ✓ Réduire les ressources nécessaires aux inspections cycliques
- ✓ Détecter et évaluer plus précisément l'évolution des parois grâce aux analyses diachroniques
- ✓ Prioriser les zones ponctuelles à débroussailler
- ✓ Limiter l'exposition au travail en hauteur pour les agents
- ✓ mettre en évidence les familles de fractures affectant le massif

L'ESSENTIEL EN 3 POINTS

1

Le développement et l'intégration des jumeaux numériques dans le secteur ferroviaire représentent une **avancée technologique majeure qui pourrait transformer radicalement la gestion des infrastructures**. L'adoption croissante de cette technologie, soutenue par des politiques publiques et des innovations constantes, démontre l'intérêt et la nécessité de moderniser les systèmes ferroviaires pour répondre aux exigences actuelles et futures.

2

En offrant une réplique virtuelle précise et en temps réel des systèmes physiques, les jumeaux numériques permettent non seulement **d'améliorer la maintenance prédictive, mais aussi de maximiser l'efficacité opérationnelle et de réduire les coûts associés**. Cependant, pour que cette transformation soit un succès, il est impératif de surmonter les défis liés à l'interopérabilité, à la sécurité des données et aux coûts initiaux.

3

Il est donc **essentiel pour les entreprises du secteur ferroviaire de commencer à investir** dans cette technologie dès maintenant, en adoptant une approche progressive qui capitalise sur les données existantes et les solutions rentables. En procédant ainsi, elles pourront non seulement relever les défis actuels, mais aussi saisir les opportunités offertes par cette révolution technologique pour renforcer la résilience et l'efficacité de leurs opérations à long terme.

Altametrис – Éditeur de logiciel de gestion des données

Capitalisant plus de 10 ans d'expérience à révolutionner l'exploitation d'actifs industriels, Altametrис a toujours su combiner d'une part des moyens innovants comme les drones, les robots ou les capteurs LiDAR et d'autre part les nouvelles technologies dont l'intelligence artificielle afin de répondre aux enjeux de ses clients.

De la SNCF à d'autres grands groupes industriels en France comme en Europe, ce sont autant de gestionnaires de patrimoines industriels d'envergure qui font aujourd'hui confiance à Altametrис.

Au travers d'Altametrис Suite, sa plateforme cloud, Altametrис met entre les mains des ingénieurs et experts industriels exigeants le logiciel le plus complet pour acquérir la donnée, l'analyser et la transformer en connaissances métier exploitables au service de l'ensemble du cycle de vie d'immobilisations industrielles.

En offrant des services métiers prêts à l'emploi et simples à utiliser, Altametrис Suite démocratise ainsi la possibilité de jumeler le réel au digital et met à la portée de chacun la possibilité de récolter les fruits du numérique dans l'exploitation d'infrastructures.

© Copyright Altametrис, 2024 — tous droits réservés

ALTAMETRIS SAS

RCS Bobigny 828 154 377

33 Avenue Jules Rimet

93210 Saint Denis

contact@altametrис.com

www.altametrис.com

@ALTAMETRIS

CONTACTEZ-NOUS !

serviceclient@altametrissmcf.com

