

Livrable

Relevés numériques

Auteurs/Organismes

Omar DJOUDI (Ecartip)
Nolwenn LANCIEN (Vinci Concessions)
Guillaume TIGNON (Colas)

Thème de rattachement :
Thème I : Mise en perspective des pratiques
Nouvelles Technologies

MINnD_TH01_UC00_03_Relevés_numeriques_026_2019

Mai 2019

Sommaire

1. RÉSUMÉ / ABSTRACT	2
2. PRÉAMBULE	3
3. FORMULATION DES BESOINS PAR LE DONNEUR D'ORDRE	5
3.1. Préambule.....	5
3.2. Cahier des charges	6
3.3. Internalisation - externalisation	15
4. CAS D'USAGE.....	16
4.1. Préambule.....	16
4.2. Relevés de l'existant.....	16
4.3. Relevés en cours des travaux	20
4.4. Relevés pour l'exploitation	24
5. TECHNOLOGIES D'ACQUISITION.....	26
5.1. Photogrammétrie	26
5.2. Lasergrammétrie	27
5.3. Interférométrie radar	31
6. CONCLUSIONS.....	33
7. RÉFÉRENCES	35
8. ANNEXES	36
8.1. Annexe I : exemple de fiche de synthèses à remplir par le client	36

I. RESUME / ABSTRACT

Résumé

Objet du présent livrable

L'objet de ce livrable est de répertorier, sans pour autant être exhaustif, les principales techniques et technologies qui permettent la réalisation de relevés numériques pour les projets infrastructures linéaires.

Points détaillés

Ce document détaille les points de vigilance et incontournables à cerner pour toute demande de relevé numérique. Le but étant d'appliquer, à un besoin spécifique, le type de technologie le mieux adaptée en regard du résultat attendu. L'efficacité de la solution préconisée permet de rattacher ce relevé numérique à un processus BIM tout en déclinant stratégiquement et économiquement la démarche la plus pertinente.

Abstract

Aim of the present deliverable

This deliverable identifies, without being exhaustive, the technologies that enable the realization of a digital survey for infrastructures.

Detailed points

It details the vigilance points to identify for any request of a digital survey. The aim is to apply to a specific need the type of technology best suited to the expected result, the type of object to be identified and its progress (project phase). The effectiveness of the recommended solution will link this digital survey to a BIM process while strategically and economically declining the most relevant approach.

2. PREAMBULE

Rappel du contexte

Une acquisition numérique de données...

... qui est le résultat d'une récolte de données...

... qui sont ensuite retranscrites

Un relevé numérique correspond à l'acquisition « numérique » de données présentant l'état actuel :

- d'une zone dédiée à un aménagement futur,
- d'une réalisation existante.

Cette acquisition est le résultat d'une récolte de données topographiques du terrain :

- semis de points,
- fonds de bassins,
- lignes de crêtes,
- etc.

Ces données sont mises à une échelle adaptée pour être retranscrites sur :

- un plan,
- une carte,
- ou une maquette numérique.

Notion de « Livrable »

Définition

Cette opération de retranscription nous conduit à la notion de « Livrable ». La notion de « Livrable » correspond à la **transformation des données acquises vers un format exploitable**, comme expliqué ci-dessous.

Une transformation des données vers un format exploitable...

... par des tiers	Bureaux d'études
	Collectivités
... pour des objectifs divers	Études géométriques
	Exploitation de données SIG

Formats possibles

En plus des livrables classiques aux formats dwg 2D, dwg 3D, etc., le livrable du relevé numérique peut être mis sous une forme lui permettant de s'intégrer :

- à un modèle,
- à une maquette numérique.

En effet, **certaines solutions logicielles permettent d'ajouter à la maquette du futur aménagement des éléments environnants sous différentes formes** comme :

- les nuages de points,
- les orthophotos,
- etc.

Technologies pour la réalisation de relevés numériques

Diverses technologies existent pour la réalisation des relevés numériques.

Elles sont présentées avec plus de détails dans les chapitres suivants. Quels que soient la technologie ou l'outil utilisé, **l'objectif est d'obtenir des données pertinentes pour permettre la réussite du futur aménagement**.

Conditions pour un projet de construction réussi

Un projet de construction réussi est un projet basé sur une bonne connaissance :

- de l'état initial,
- de l'environnement,
- des structures existantes.

Problématique :
Le décalage entre la représentation de l'existant et la réalité sur le terrain**Origine du décalage**

Les retours d'expériences sur les grands projets de construction confirment que le décalage entre la représentation de l'existant sur les plans de conception et la réalité sur le terrain peut avoir des **conséquences économiques et qualitatives déterminantes**. En effet, cela contraint souvent les entreprises de travaux à :

- Refaire un relevé numérique.
- Reprendre une partie de la conception en phase d'études d'exécution pour la rendre plus cohérente et compatible avec l'existant.

Notre solution

Ce décalage est souvent lié au **manque de données exploitables** dans les études menées en amont à la suite d'un relevé incomplet ou inadéquat.

Il résulte également souvent d'une **incompréhension** entre :

- le demandeur de la prestation (le client),
- le prestataire (géomètre expert foncier, prestataire des services topographiques).

Afin de pallier cette situation, nous vous présentons dans les chapitres suivants :

- Une démarche d'aide à la compréhension de la demande du client par le prestataire.
- Des conseils au client pour choisir une prestation adaptée à son besoin.

3. FORMULATION DES BESOINS PAR LE DONNEUR D'ORDRE

3.1. Préambule

Une dérive entre la demande du client et celle du MOE...

Les besoins du client (maître d'ouvrage, concessionnaire, etc.) peuvent faire suite à une demande préalable d'un maître d'œuvre (bureau d'étude, bureau de contrôle, etc.). La commande étant formulée par le client directement, il peut y avoir une dérive entre la demande restituée par le client et celle exprimée par le maître d'œuvre (MOE). **Une bonne compréhension du besoin est donc nécessaire** afin de maîtriser le décalage éventuel entre :

- la demande réelle du MOE,
- la finalité de la prestation.

Exemple

Un livrable du relevé topographique réalisé pour vérifier la hauteur réglementaire des glissières en béton se distingue d'un relevé pour délimiter des bassins versants hydrauliques ou la réfection de la couche de roulement.

... qui impose de vérifier les besoins du donneur d'ordre...

Avant d'établir le chiffrage de cette prestation, il est nécessaire de réaliser une vérification des besoins du donneur d'ordre suivant :

- finalité du relevé numérique,
- résultat attendu.

... et de varier le contenu du relevé numérique selon le besoin

Possibilité de filtrer les informations contenues dans le relevé numérique

Piège à éviter : correspondre trop précisément à la réalité

Le contenu d'un livrable de relevé numérique doit varier en fonction du besoin à satisfaire. En effet, un livrable pour des travaux de rénovation a peu de chances d'être utile pour satisfaire un système de facility management en BIM et inversement.

Un relevé numérique sous forme de nuage de points peut être très exhaustif et son livrable contenir uniquement les éléments qui ont été demandés. Même si beaucoup d'informations sont collectées lors de l'acquisition, le livrable du relevé numérique correspond à une représentation de l'existant.

Ainsi, **toutes les données collectées ne sont pas nécessairement incluses dans le livrable fourni** (sous forme de nuage de point, plan 2D, plan 3D, etc.). Elles sont filtrées pour faire ressortir les éléments qui répondent aux besoins exprimés.

En pratique, il n'est pas forcément intéressant « économiquement » de créer un livrable qui correspond exactement et complètement à la réalité.

Exemple

Un relevé où la densité du nuage de points serait trop importante sur le relevé « brut » (avec une végétation dense et des arbres très nombreux) est peu utile pour un plan de terrassement après déboisement.

3.1 Préambule

Vérification possible des besoins sous la forme d'un questionnaire

La vérification des besoins peut prendre la forme d'un questionnaire **qui interroge le client ou le MOE sur différents points clés**. Ces points clés orientent alors le choix de la technique adéquate pour réaliser un relevé numérique satisfaisant :

- levé classique,
- scan statique,
- scan dynamique,
- Lidar aérien,
- etc.

3.2. Cahier des charges

Objectifs de l'étude et nature de l'ouvrage

Des projets composés d'ouvrages qui sont différents...

Un projet d'infrastructure linéaire est composé de différents ouvrages qui nécessitent une conception spécifique. Par exemple :

- un ouvrage d'art pour le rétablissement routier,
- un bassin hydraulique pour le stockage et la régulation de débit avec rejet dans le milieu naturel,
- une chaussée.

Ces derniers sont autant d'ouvrages **qui nécessitent d'adapter la méthode d'acquisition du relevé numérique**.

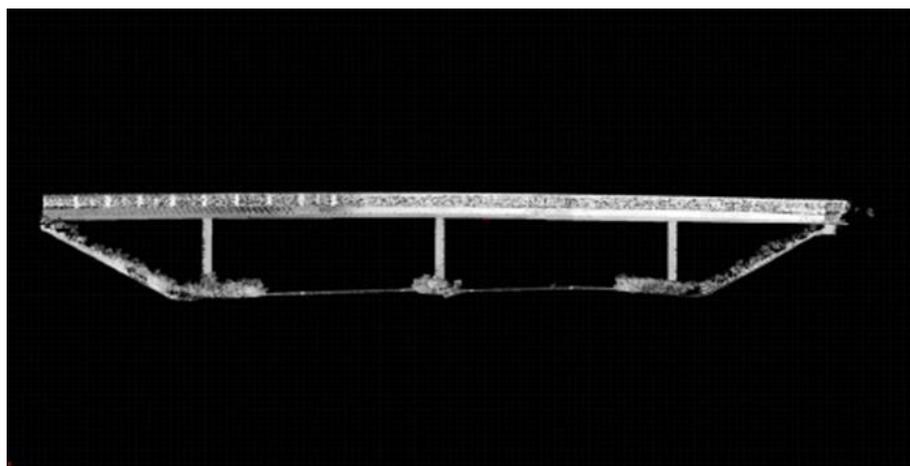
Exemples

Le relevé d'un ouvrage de franchissement est souvent axé sur la vérification des gabarits de passage des véhicules (routiers ou ferroviaires).

Les bassins hydrauliques sont vérifiés au niveau de la capacité de stockage.

La vérification des dévers des chaussées permet :

- la détection des zones de stagnation des eaux,
- la stabilité des véhicules dans les virages.



Coupe sur un nuage de point au droit d'un ouvrage d'art

... à l'instar des techniques proposées!

De ce fait, les techniques proposées peuvent être très différentes :

- Un relevé Lidar statique est souvent proposé pour les ouvrages de franchissement.
- Un relevé Lidar dynamique est proposé pour les chaussées.
- Un relevé traditionnel moins automatisé qu'un Lidar est proposé pour les bassins hydrauliques.

3.2 Cahier des charges

<p>Définition du projet</p> <p>Échelle</p> <p>Étapes</p> <p>Étendue spatiale</p>	<p>Le marché des relevés numériques est souvent intégré dans une opération plus large. Informer le prestataire sur la portée de l'étude permet de «viser» la précision nécessaire.</p> <p>Dans certains cas, la réalisation d'un relevé exhaustif et précis permet d'anticiper des besoins des phases suivantes.</p> <p>La décision finale est à la discrétion du client, mais avant que le client ne finalise son choix, il peut être utile de présenter :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'éventail des solutions possibles, • leurs tenants et aboutissants. <p>Les projets d'infrastructures linéaires (route, autoroute, ligne à grande vitesse) peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres. Cette «morphologie» du projet nécessite une technique adaptée pour anticiper les erreurs de calculs liés au système de projection cartographique. Il faut ainsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Choisir un système de projection compatible avec la longueur et l'étendue du projet avant le début de la conception. • Conserver le système choisi jusqu'à la fin des travaux afin d'éviter les transformations d'un système de projection à un autre, qui sont souvent sources d'erreurs. 			
<p>Précision attendue</p> <p>Définition</p> <p>Périmètre</p> <p>Exemples</p> <p>Satisfaction</p>	<p>Le terme « précision » en topographie est utilisé pour définir la marge d'erreur admissible dans les mesures :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de planimétrie (x, y), • d'altimétrie (z). <p>L'exigence peut être :</p> <ul style="list-style-type: none"> • limitée à quelques points repères du levé, • élargie à tous les points du levé. <table border="1" data-bbox="523 1361 1434 1480"> <thead> <tr> <th>Exemples</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Un levé simple de corps de chaussée ou les trois coins de la bordure.</td> </tr> <tr> <td>Le centre du regard ou tous les points caractéristiques du regard.</td> </tr> </tbody> </table> <p>La satisfaction de la précision requise est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liée aux points abordés précédemment : <ul style="list-style-type: none"> - étendue du projet, - nature de l'ouvrage, - etc. • Dépendante de plusieurs facteurs : <ul style="list-style-type: none"> - conditions météorologiques, - obstacles, - matériel utilisé, - etc. <p>Il est donc essentiel d'échanger avec le client sur la limite du système d'acquisition en fonction des conditions de réalisation de la prestation.</p>	Exemples	Un levé simple de corps de chaussée ou les trois coins de la bordure.	Le centre du regard ou tous les points caractéristiques du regard.
Exemples				
Un levé simple de corps de chaussée ou les trois coins de la bordure.				
Le centre du regard ou tous les points caractéristiques du regard.				

3.2 Cahier des charges | Précision attendue

Exemples

Nous vous présentons ci-dessous plusieurs exemples de précisions qui peuvent être demandées :

Exemples	
Génie civil	Le millimètre en x, y, z.
Terrassement	Le centimètre.
Réseaux enterrés	Suivant la classe (A, B, C ou D) jusqu'à une dizaine de centimètres en x, y, z.

Contraintes réglementaires et autorisations spécifiques

L'accès aux zones d'acquisition est conditionné par une accessibilité :

- géographique,
- réglementaire (autorisations SNCF, aviation civile, zones militaires, etc.).

L'enjeu peut être sécuritaire ou sanitaire.

Ces contraintes doivent faire l'objet d'une attention particulière lors du choix de la technique utilisée pour l'acquisition des données.

Exemple

Il existe des zones sensibles qu'il est interdit de survoler comme :

- Les centrales nucléaires.
- Les bâtiments militaires, d'état médicaux.
- Les écoles.
- Les établissements d'où partent des secours.
- Certaines usines.
- Etc.

Nous vous proposons ci-après quelques exemples non exhaustifs sur les sites qui nécessitent une autorisation au préalable de l'intervention sur site.

Exemple I : Relevés par voie aérienne

L'utilisation d'un aéronef relève du régime des « activités particulières »...

Pour les acquisitions de données par voie aérienne, toute utilisation d'un aéronef circulant sans personne à bord (cas des drones) et utilisé dans un cadre professionnel relève du régime des « activités particulières ».

... qui est soumis à un ensemble de règles

Ce régime est soumis à un ensemble de règles relevant à la fois de règles :

- propres à ces aéronefs,
- propres aux activités particulières,
- générales de l'aviation civile,
- qui n'ont rien de spécifique au domaine aérien (exemple : le respect de la vie privée).

Ces règles concernent :

- L'aéronef.
- Les restrictions d'utilisation et les démarches préalables au vol.
- Le télépilote.
- Les conditions de préparation et de réalisation d'un vol.
- L'exploitant.

4 scénarios opérationnels prévus

Par ailleurs, la réglementation prévoit 4 scénarios opérationnels. Tout vol en dehors de ces 4 scénarios prédéfinis ne peut être envisagé que dans le cadre d'une autorisation spécifique.

3.2 Cahier des charges | Contraintes réglementaires et autorisations spécifiques

**Exemple 2 :
Zones nucléaires**

L'accès à un site nucléaire est strictement réglementé. En effet, dans certaines zones, il existe un risque de contamination :

- du personnel,
- du matériel utilisé pour l'acquisition.

Ainsi, une demande d'autorisation d'accès est systématiquement remplie avant chaque intervention.

	DEMANDE D'AUTORISATION D'ACCES	Modèle
--	---------------------------------------	--------

Partie à renseigner par l'Entreprise et par l'Intervenant

INTERVENANT <small>(à renseigner par l'intervenant)</small>			
Joindre obligatoirement la photocopie recto verso de la pièce d'identité en cours de validité Carte Nationale d'Identité ou Passeport uniquement			
<i>Les éléments indiqués ci-dessous en lettres majuscules doivent être conformes à la pièce d'identité</i>			
Nom de naissance *		1 ^{er} Prénom *	
Nom d'usage *		2 ^{ème} Prénom *	
Date de naissance *		Lieu de naissance *	
Code postal du lieu de naissance * <small>99999 si née(e) à l'étranger</small>		Pays de naissance *	
Nationalité actuelle *		Nationalité d'origine *	
Adresse de résidence (n°- appartement - rue) *			
Ville de résidence *		Code Postal *	
N° de téléphone *		Adresse mail*	

SITUATION PROFESSIONNELLE DE L'INTERVENANT <small>(à renseigner par l'employeur ou à défaut par l'intervenant)</small>	
Nom de l'employeur actuel ou de l'organisme d'affectation (entreprise, école, organisme) * ou timbre de la société	
Profession *	
N° de SIRET de l'employeur (14 chiffres) * <small>Obligatoire pour les entreprises françaises</small>	
Date *	
Signature de l'intervenant *	Signature de l'entreprise *

*Les champs marqués d'une * doivent être impérativement renseignés*

Le droit d'accès aux informations vous concernant, tel que prévu par la loi n° 78 - 17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'exerce de façon indirecte auprès de la CNIL, 3, Place de Fontenoy - TSA 80715 - 75334 Paris CEDEX 07

Demande d'autorisation d'accès

3.2 Cahier des charges | Contraintes réglementaires et autorisations spécifiques

**Exemple 3 :
Site pétrolier**

Pour des raisons stratégiques et de sécurité, **l'accès aux raffineries doit passer obligatoirement par une demande d'accès.**

Le prestataire doit fournir des informations sur :

- l'identité des intervenants,
- le matériel utilisé,
- les horaires d'intervention.

Entreprise pétrolière	MAI ANNEXE 01 : DEMANDE DE BADGE D'ACCES A LA RAFFINERIE PROCEDURE	Num. : .01 Rév. : 02 Date : 13/03/2017 Page : 1 / 1	<input checked="" type="checkbox"/> CREATION BADGE (valable 1 an maxi) <input type="checkbox"/> RENOUELEMENT BADGE <input type="checkbox"/> RENOUELEMENT ACCUEIL SECURITE <input type="checkbox"/> Pour le renouvellement des habilitations, le document original est à présenter à l'accueil sans remplir la demande de badge.											
ENTREPRISE PRINCIPALE : FONDASOL N° Plan de Prévention : Nom du Responsable : Adresse mail du responsable : N° de tel du responsable : Date : Visa (*) :		SOUS-TRAITANT : ECARTIP Groupe Fondasol N° Plan de Prévention : Nom du Responsable : Julien Date : 29/10/18 Visa (*) :												
NOM	PRENOM	CONTRAT Déclaration de l'EE (CDI-CDD-Intérim)	Accès usine pétrolière	Accès usine chauffage	Accès Bâtiment Administratif	Accès Zone C (Expéditions)	Accès Zone E (base vie EE)	Accès 24/24	ACCUEIL SECURITE	RISQUES CHIMIQUES		HABILITATION ELECTRIQUE	JOINTAGE	ARI
			Oui/Non	Oui/Non	Oui/Non	Oui/Non	Oui/Non	Oui/Non	Oui/Non	(valable jusqu'au) (2 ans)	Niveau 1 (valable jusqu'au) (3 ans)	Niveau 2 (valable jusqu'au) (4 ans)	(valable jusqu'au) (3 ans ou illimitée)	(n° de certification) (illimitée)
	ROMAIN	CDI	OUI	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	le 29/10/18	05/10/18		3 ans		
	LOIC	CDI	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	non ok	05/10/18		3 ans		
Partie réservée à un donneur d'ordre TOTAL (Chef de Département Maintenance ou délégataire)														
Date:							Nom :			Visa:				

(*) La signature du responsable de l'entreprise atteste l'exactitude des indications portées sur ce document

Demande de badge d'accès à la raffinerie

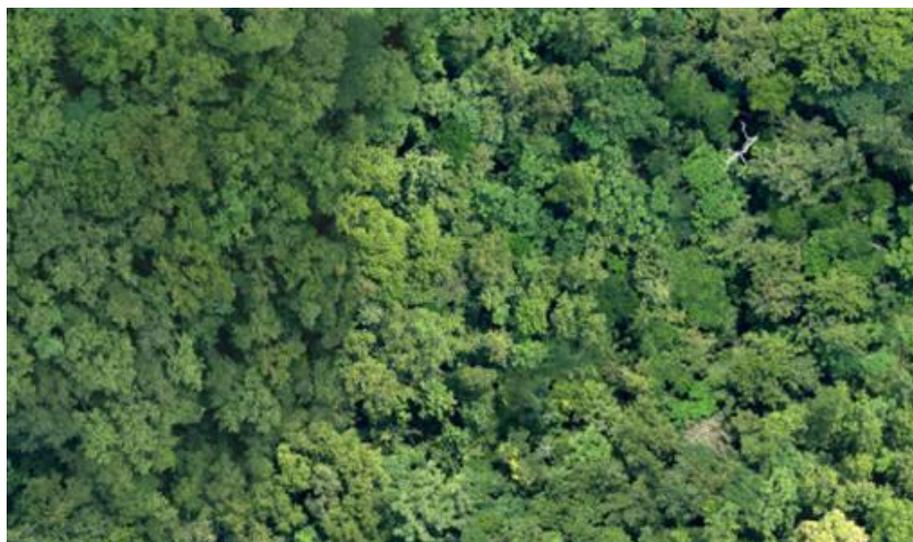
3.2 Cahier des charges

Contraintes environnementales et temporelles

Des contraintes environnementales pouvant influencer le choix de la solution

En lien avec les conditions de l'acquisition, les contraintes environnementales peuvent influencer le choix de la solution.

En effet, **si la zone à relever est inaccessible pour des raisons physiques ou juridiques, l'acquisition topographique classique ne peut pas être envisagée.**



Exemple de contrainte environnementale : le levé d'une zone avec une végétation très dense

Une alternative possible : l'utilisation de moyens aériens

L'utilisation de moyens aériens (Lidar embarqué par exemple) peut être une alternative en fonction :

- de la précision attendue,
- du respect de critères réglementaires et juridiques de la zone de projet

Exemples de critères réglementaires et juridiques

Survol à proximité de terrains militaires ou de parcelles privées.

Réglementation du partage de l'espace aérien.

Intervention en période nocturne

Pour certains projets, il n'est possible d'intervenir qu'en période nocturne. Le choix de la solution doit là aussi tenir compte de cette contrainte.

Contraintes spécifiques pour le suivi des travaux

Il est nécessaire de réaliser des relevés numériques de terrain :

- avant le début des études (état initial),
- à la fin des travaux (dossier des ouvrages exécutés).

Cependant, cette démarche n'est pas toujours suffisante. Ainsi, les **relevés numériques intermédiaires** présentent plusieurs intérêts décrits ci-après.

Intérêts des relevés numériques intermédiaires

« Photogrammétrie » à un instant « t » l'avancement des travaux

Cela concerne notamment :

- la phase terrassement,
- la mise en œuvre des chaussées.

Des interventions régulières peuvent être programmées et organisées aux moments de l'exécution des travaux jugés clés.

Intérêts des relevés numériques intermédiaires

Servir de point d'étape, de passage d'une phase à une autre ou pour un point d'interface

Ainsi, un relevé numérique intermédiaire peut servir à la levée d'un point d'arrêt de terrassement, avant mise en place d'une couche de forme.

Lors de la réception du projet, il est souvent compliqué d'expliquer ou de justifier les écarts entre le projet nominal figurant aux plans et le projet réellement réalisé. L'instauration des relevés intermédiaires permet :

- de mieux comprendre les raisons de l'écart,
- d'apprécier son acceptabilité.

Performances attendues de la solution retenue

Durant cette étape, **le client affine ses besoins selon la solution retenue**. Cela permet :

- de bien cerner les attentes du client sur le livrable final,
- d'anticiper les évolutions éventuelles.

Cette étape peut également être présentée sous forme de questionnaire à choix multiples, comprenant les assertions suivantes, données à titre d'exemple

- Référentiel géographique de référence : RGF93 (planimétrie), IGN 69 (altimétrie), polygonale de chantier, etc.
- Système de projection : Lambert 93 zones, conique conforme.
- Système d'unités.
- Emprise du chantier.
- Précision de mesures.
- Etc.

À cette étape, il s'agit :

- de challenger les propositions obtenues par application du questionnaire,
- de s'assurer de l'adéquation de la solution préconisée par le prestataire.

Celui-ci doit alors être en mesure d'argumenter le choix de la solution retenue.

Format du livrable et classification des informations

▾ Des différences dans le niveau de précision qui doivent être matérialisées...

En fonction de l'usage, le niveau de précision attendu n'est pas le même :

- À proximité des ouvrages à réaliser, le niveau de précision attendu est élevé.
- Le corridor dans lequel s'inscrit l'ouvrage demande une précision moins exigeante.

Le modèle numérique d'un projet doit faire cohabiter des relevés numériques avec des niveaux de précision différents qu'il est primordial de matérialiser (patchwork de zones délimitées par des enveloppes, ou code couleur).

3.2 Cahier des charges | Performances attendues de la solution retenue

Format du livrable
et classification
des informations

... à l'aide d'une classification

On peut utiliser une classification qui dépend :

- De la méthode d'acquisition des données.
- De leur post-traitement (en fonction de la précision ou de la tolérance de l'information, du maillage de points, etc.).

Cette classification permet :

- D'étalonner le niveau de certitude (ou d'incertitude) de l'information utilisée.
- De prendre des décisions avec des données plus ou moins fiables.

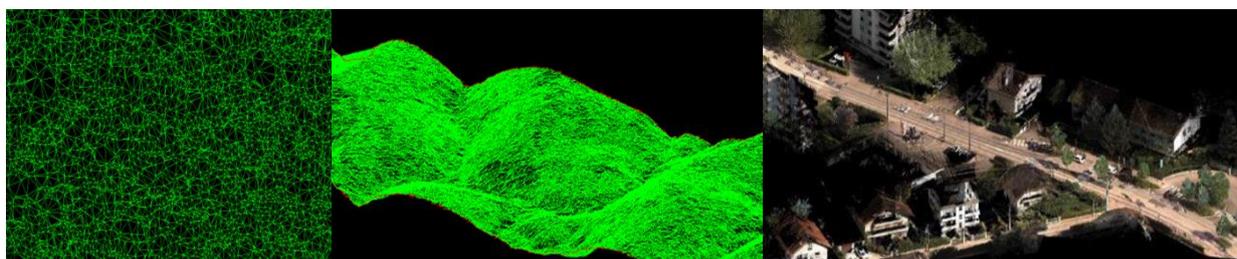
Niveau 0	Export Google Map
Niveau 1	Orthophotos
Niveau 2	Relevé Lidar brut
Niveau 3	Relevé Lidar avec reconnaissance automatique de formes
Niveau 4	Relevé Lidar avec reconnaissance automatique d'objets (équipements)
Niveau 5	Relevé Lidar avec remplacement manuel d'objets (équipements)
Niveau 6	Ressaisie de plans DCE
Niveau 7	Conformité relevé Lidar et ressaisie de plans DCE

Le but ici est d'assurer la synchronisation et l'adéquation de la capacité de production du prestataire et l'usage du client.

Des livrables qui peuvent prendre des formes différentes

Les livrables proposés peuvent prendre la forme suivante :

- Nuage de points brut.
- Nuage de points classifié.
- Plans 2D au format dwg, dxf ou dgn.
- Plans 3D au format dwg, dxf ou dgn.
- MNT (modèle numérique du terrain) au format dwg, dxf, dgn, landxml, ifc¹.
- Etc.



Modèle numérique du terrain issu du nuage filtré

Nuage de point colorisé
(acquisition par un véhicule + un drone)

¹ Le format IFC permet de transférer les données avec intégration d'attributs sur certains objets.

3.2 Cahier des charges | Performances attendues de la solution retenue

Acquisition et traitement des données

Distinction acquisition/traitement

La distinction entre acquisition et traitement est la suivante :

Acquisition (terrain)	La mise en œuvre des moyens de relevé allant de l'appareil topographique classique (GPS, Théodolite, etc.) au Lidar aérien.
Traitement (bureau)	La transformation des données brutes issues des appareils utilisés sur le terrain à des données explicites et exploitables par les bureaux d'études dans le but de réaliser des projets.

Point de vigilance : les données brutes ont besoin de métadonnées complémentaires avant d'être traitées

Une attention particulière est nécessaire concernant la mise à disposition de relevés Lidar. Sorties de leur contexte, elles peuvent être difficilement exploitables et fiables. Les données brutes acquises ne peuvent pas être traitées sans métadonnées complémentaires.

Exemple

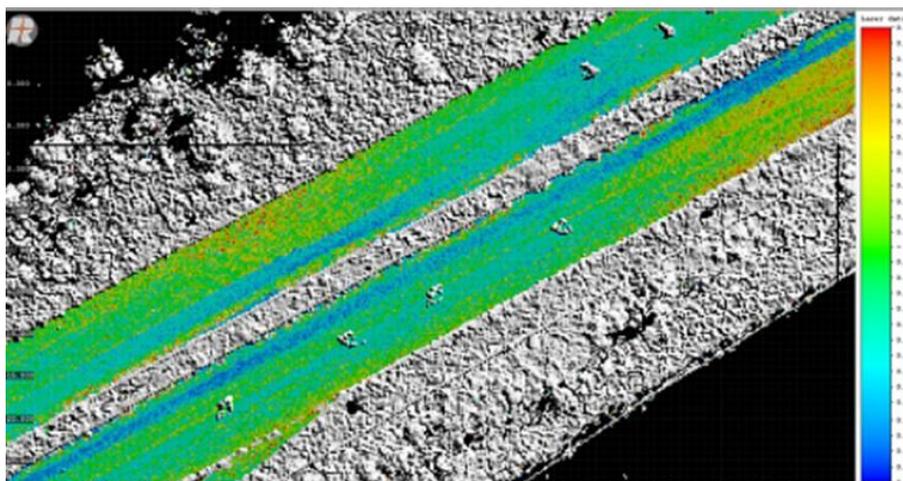
Pour une voie SNCF :

- Le relevé de la topographie du terrain n'est pas suffisant.
- Le relevé complémentaire ou simultané sur les rails et les caténaires est sans doute nécessaire pour alimenter les études.

Traitements possibles

Les traitements possibles peuvent être :

- Classification des nuages de points.
- Dé-densification et obtention des points et lignes caractéristiques.
- Recalage sur des systèmes projection.
- Digitalisation.
- Orthophotos.



Nuage de point classifié par altitude

3.2 Cahier des charges | Performances attendues de la solution retenue

Acquisition et traitement
des données

Exploitation des nuages de points

Les systèmes Lidar3D permettent d'obtenir des nuages de points sur des grands espaces. Se pose alors la question de l'exploitation de ces millions de points relevés. À partir de ces données, il s'agit en effet d'extraire les informations qui permettent de dessiner ou représenter de manière pertinente :

- un bâtiment,
- des infrastructures existantes,
- le terrain naturel.

Nuage de points d'une zone végétalisée



Vue en plan

Vue en coupe

3.3. Internalisation - externalisation

Problématique

Lors de la définition d'une stratégie pour la réalisation d'un grand projet, la question suivante peut se poser : **est-il préférable de réaliser l'acquisition des données en propre ou d'externaliser la prestation ?**

Réponse

Facteurs influant sur la décision

La décision est en grande partie liée :

- À la précision attendue.
- À l'accessibilité du terrain.
- Au degré d'expertise nécessaire.
- À la répétabilité de l'opération sur un projet en particulier, et son éventuelle extension à d'autres projets à venir. En effet, si ce type de prestation est amené à être renouvelé sur d'autres projets, le fait de capitaliser une forme d'expérience dans le domaine peut trouver une légitimité stratégique. Cette capitalisation peut ainsi provoquer l'internalisation du processus pour cette opération pilote qui peut nourrir des opérations futures.

Avantages de l'internalisation

L'internalisation de la prestation permet **autonomie et flexibilité quant aux moyens et fréquences des relevés**. Cependant, cela internalise également la responsabilité qui s'y rattache, ainsi que les frais de maintenance et d'étalonnage des appareils.

Avantages de l'externalisation

En revanche, sur une opération délicate, la **notion de savoir-faire et d'expertise** peut nécessiter l'externalisation auprès d'un prestataire compétent.

4. CAS D'USAGE

4.1. Préambule

Objet du présent chapitre

Différents cas d'usage et techniques de relevés sont décrits ci-après.

Attentes qui doivent être explicitées

Pour chacun des cas d'usages, le donneur d'ordre doit expliciter clairement ses attentes sur le relevé numérique notamment en ce qui concerne :

- Le niveau de performance à atteindre.
- Les usages prévus du relevé.
- Le descriptif de l'ouvrage à relever.
- Le niveau de précision.

4.2. Relevés de l'existant

Géoréférencement GPS

Le géoréférencement GPS permet de **positionner précisément un point, un repère ou une borne de façon tridimensionnelle à l'aide des signaux** :

- émis par des satellites GPS,
- captés par un récepteur au sol.

Méthodologies

Les travaux de géoréférencement peuvent être conduits suivant plusieurs méthodologies en fonction des moyens disponibles et mobilisables :

- Effectuer les observations et déterminations directes sur points connus à vue.
- Établir les polygonales de rattachement à partir de points connus.
- Procéder au rattachement par méthode GNSS (Global Navigation Satellite System) en temps réel, post-traitement, Rinex virtuel (voir le chapitre « Références »).

Accompagnement d'une classe de précision

Les travaux de géoréférencement doivent obligatoirement être accompagnés d'une classe de précision en fonction des objectifs à atteindre.

4.2 Relevés de l'existant

Relevé terrestre	<p>Le relevé terrestre permet d'établir les plans sur lesquels sont représentés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la topographie d'un terrain ou d'un cours d'eau, • ses détails naturels ou artificiels. <p>Nous consacrons le présent chapitre aux techniques réalisées depuis le sol. Les autres méthodes sont décrites dans les chapitres suivants.</p>
Appareils utilisés	<p>Le relevé terrestre peut être réalisé à l'aide d'appareils de mesures topographiques variés tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les tachéomètres électroniques, • les stations GPS, • les scanners laser 3D.
Récupération et traitement des données	<p>Les données doivent ensuite être récupérées et traitées afin de dresser les plans à l'échelle requise.</p>
Méthodologie	<p>Pour réaliser le relevé terrestre, la méthodologie peut être la suivante :</p>

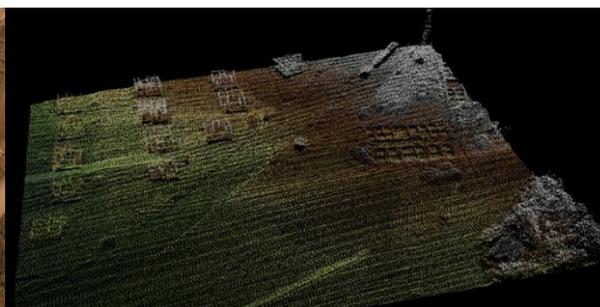
Étape	Action
1.	Reconnaissance préalable du site.
2.	Définition des classes de précision et identification des détails à relever.
3.	Recherche des informations nécessaires au géoréférencement du levé.
4.	Choix des instruments et des méthodes à employer.
5.	Recueil des informations sur les réseaux existants auprès des gestionnaires au moyen du formulaire DT-DICT et report de ces éléments sur le plan (responsabilité du maître d'ouvrage).
6.	Contrôle de la fiabilité et de la précision du matériel utilisé.
7.	Exécution du relevé topographique sur le terrain, en allant toujours de l'ensemble vers le détail et en procédant, si nécessaire, au géoréférencement des observations.
8.	Contrôle des mesures (points doubles sur les points critiques du chantier).
9.	Exploitation des mesures par calculs.
10.	Contrôle des calculs par rapport aux tolérances.
11.	Report et confection du plan au moyen des logiciels de DAO.
12.	Vérification des plans avant la livraison des documents et fichiers numériques.

Exemple d'un levé d'une zone dégagée

Les images ci-après présentent l'exemple d'un levé d'une zone dégagée.



Photo aérienne



Nuage de points brut



Nuage de points après filtrage

Dé-densification des points

MNT issu du nuage de points allégé

Relevé bathymétrique	<p>La bathymétrie est le domaine des études hydrographiques qui s'attache à la mesure des profondeurs des :</p> <ul style="list-style-type: none"> • rivières, • canaux, • lacs, • etc. <p>Elle a pour but de déterminer leur topographie.</p>
Principe général	<p>La bathymétrie associe un positionnement en surface avec la mesure d'une profondeur par sondeur électro-acoustique mono-faisceau ou multifaisceaux à partir d'une embarcation (éventuellement télécommandée).</p> <p>La profondeur est calculée à partir du temps de trajet d'un signal acoustique réfléchi au fond.</p>
Appareils utilisés	<p>Le positionnement peut être acquis par un tachéomètre électronique vidéo-asservi, ou mieux par un GPS temps réel embarqué.</p>
Utilisation d'un logiciel de bathymétrie	<p>L'ensemble des données GPS et sondeur alimentent un logiciel de bathymétrie installé sur un ordinateur embarqué, qui permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la planification des travaux, • la navigation.
Traitement des données	<p>Les données du sondeur ne pouvant être contrôlées en temps réel, les acquisitions sont toujours des valeurs brutes traitées en temps différé au bureau.</p> <p>Elles fournissent les coordonnées du fond et de la surface, sous réserve :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de référencer les profondeurs en mer au zéro hydrographique donné par le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la marine), • de les dater.
Relevé obtenu	<p>Après filtrage des données et tests de plausibilité des mesures du sondeur, on obtient une modélisation numérique du fond sous forme de MNT. Cette modélisation est la base des traitements ultérieurs.</p>

4.2 Relevés de l'existant

**Relevé d'ouvrages
élémentaires et de bâti**

Une numérisation
qui offre un niveau
de détail inégalable

Applicabilité

Des outils qui
permettent la
systématisation des
processus de vérification

Une alternative crédible
aux visites réelles de site

Grâce à la possibilité de configurer différents types de numérisation, **la numérisation 3D offre un niveau de détail que ne peuvent atteindre les méthodes de relevé conventionnelles**. En effet, ces dernières sont sujettes dans la collecte des données :

- aux erreurs humaines,
- aux imprécisions.

En utilisant les données 3D collectées par un scanner laser, il est possible de fournir aux clients une reproduction numérique détaillée de l'existant ou des modèles 3D d'environnements complexes pour une utilisation dans :

- le génie civil,
- la construction industrielle,
- l'architecture,
- la conception de réseaux de tuyaux et de gaines,
- le génie minier,
- les projets d'installation et de rénovation.

Ce type de relevé peut être appliqué :

- aux gares,
- aux stations d'épuration,
- aux gares de péage,
- aux stations de service/repos,
- etc.

Des outils permettant d'identifier des écarts de réalisation...

Certains outils permettent de comparer facilement et précisément des fichiers de conception 3D avec des nuages de points tels que construits. Cela permet d'identifier des écarts de réalisation au regard des tolérances dimensionnelles admissibles.

Exemple

La confrontation des plans de canalisations d'égouts et les nuages de points issus du relevé Lidar 3D.

... et ainsi d'éviter des vérifications ponctuelles...

Cette technologie de nouvelle génération permet alors d'éviter des vérifications ponctuelles manuelles, fastidieuses et sujettes aux erreurs sur des projets entiers.

... mais aussi de détecter des écarts de positionnements importants...

Il est ainsi possible de détecter des écarts de positionnement importants par rapport aux relevés manuels antérieurs (plus de 30 m).

... et de passer des modèles de topologie de réseau à des consultations à la volée de bases de données !

Il existe aujourd'hui des outils qui permettent de passer des modèles de topologie de réseau à des consultations à la volée de bases de données associées à une structuration intelligente puis à un modèle BIM.

Les visites de site virtuelles rendues possibles par ces techniques sont alors des substituts tout à fait crédibles aux visites réelles parfois dangereuses pour des raisons :

- sanitaires,
- de sécurité,
- de sûreté.

4.3. Relevés en cours des travaux

Nivellement

Définitions et dénominations

▼ Définitions

Le nivellement est l'ensemble des opérations qui permettent de définir l'altitude de points dans un système altimétrique connu. Il en existe deux types :

Si le système altimétrique...	Alors le nivellement est dit...
Est fixé arbitrairement par le géomètre sur une référence qu'il choisit	Indépendant
Correspond à celui en vigueur sur le territoire concerné (NGF IGN69 par exemple)	Rattaché

▼ Dénominations

La dénomination du nivellement dépend des méthodes de mesure utilisées :

Dénomination	Méthodes de mesure utilisées
Nivellement direct	Lorsque les altitudes des points sont déterminées à l'aide d'un niveau.
Nivellement indirect	Lorsque les altitudes résultent de calculs faits à partir des mesures de levé d'angles et de distances ou par méthode GNSS (Global Navigation Satellite System).

Spécifications à apporter avant toute intervention

Avant toute intervention sur le terrain, il est nécessaire de spécifier :

- la définition de la méthodologie adaptée et le choix,
- les instruments appropriés en vue d'obtenir une précision en rapport avec la mission demandée par le client.

Dans certain cas, une précision de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres au kilomètre de cheminement peut être obtenue.

Il est nécessaire d'assurer la cohérence et l'homogénéité de la détermination des coordonnées géographiques de l'ensemble des relevés produits, ainsi que l'interopérabilité des données produites conformément à :

- la directive européenne Inspire du 14 mars 2007,
- l'ordonnance du 21 octobre 2010.

Conformité réglementaire

Suivi de terrassement par relevés 3D aériens

Avantages

Les drones permettent aujourd'hui de passer de prises de vues aériennes 2D à des modélisations 3D des sites relevés par traitement photogrammétrique.

Ces vols, qui font l'objet d'une réglementation spécifique, peuvent ainsi permettre grâce à un temps de vol inférieur à 2 heures de **relever plusieurs dizaines d'hectares** (hors préparation et traitement).

En effet, les chantiers nécessitent de disposer d'une multitude d'informations topographiques afin de :

- concevoir des projets,
- de les adapter,
- de les optimiser,
- de réaliser les points d'arrêts,
- de suivre les travaux et les quantités,
- de constituer une base de données géographiques,
- de réaliser les plans « tels que construits » ou de récolement.

Ces opérations permettent de suivre l'avancement des travaux en temps réel et donc de **se prémunir de dérives planning et budgétaires tout en apportant de la sécurité sur le chantier.**

4.3 Relevés en cours des travaux | Suivi de terrassement par relevés 3D aériens

<p>Cas d'une carrière</p> <p>Utilisation possible d'une méthode Lidar 3D héliportée</p>	<p>Dans le cas d'une carrière, une fois celle-ci numérisée en 3D :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les volumes de granulats sont quantifiés. • Les zones à risque ressortent avec des couleurs différentes selon leur conformité aux règles de sécurité. <p>Il peut être préconisé d'utiliser une méthode Lidar 3D héliportée en fonction :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de la précision attendue, • des surfaces à couvrir.
<p>Guidage automatique des engins de terrassement</p>	<p>Les machines de terrassement sont devenues asservies dans un souci :</p> <ul style="list-style-type: none"> • D'amélioration : <ul style="list-style-type: none"> - de la productivité, - de la qualité de réalisation, - de la sécurité des chantiers. • D'optimisation des mouvements des terres. <p>Les machines de terrassement sont donc équipées de systèmes de guidage embarqués. Ces derniers ont en mémoire le modèle numérique de l'ouvrage à construire (Modèle numérique de terrain du profil à réaliser).</p> <p>Les pelles, les bulls ou les niveleuses restent pilotés par un chauffeur, mais c'est la machine qui oriente l'outil de terrassement dès que la lame ou le godet approche de la cote du projet.</p>
<p>Relevé numérique de fouille pour comparaison au profil théorique</p> <p>Étude de la disposition des réseaux enterrés</p> <p>Utilisation d'un écran disposé dans la cabine de pilotage de l'excavatrice</p> <p>Respect des gabarits de creusement en roches dures</p>	<p>La disposition des réseaux enterrés à réaliser est étudiée préalablement en phase de conception pour respecter les contraintes propres au projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • hauteur de couverture, • écoulement gravitaire et altimétrie de l'exutoire, • mise à la cote des chambres de réseaux secs, • etc. <p>Cette disposition impose que la réalisation des tranchées et des réseaux soit conforme au projet.</p> <p>Afin d'aider à la bonne réalisation des travaux, un écran disposé dans la cabine de pilotage de l'excavatrice permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De visualiser le godet en comparaison du profil théorique à réaliser. • D'enregistrer les positions planimétriques et altimétriques du fond de la tranchée, à la demande de l'opérateur. <p>Il est nécessaire de respecter certains gabarits de creusement en roches dures :</p> <ul style="list-style-type: none"> • en phase travaux comme des puits de descente de matériels ou d'engins, • en phase d'exploitation pour assurer le passage de véhicules. <p>Afin d'assurer ce respect, il faut vérifier a posteriori le profil d'excavations verticales, horizontales ou inclinées, en comparaison avec le profil théorique.</p>

4.3 Relevés en cours des travaux | Relevé numérique de fouille pour comparaison au profil théorique

Catégories de hors-profil

Le hors-profil peut être de deux catégories :

Sous-excavation	Un profil plus petit ponctuellement que le profil attendu (gabarit non admissible pour les usages attendus).
Sur-excavation	Tout ce qui est hors marché (donc non rémunéré par le client, qui exige donc son évaluation quantitative exacte).

Avantages des relevés numériques par numérisation laser

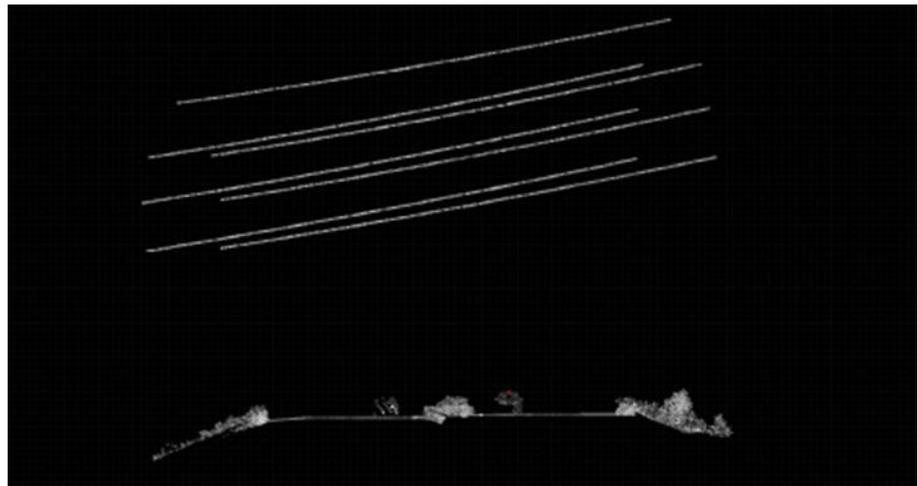
Les relevés numériques par numérisation laser permettent :

- de comparer la géométrie réalisée avec la géométrie théorique,
- d'estimer les écarts ponctuels ainsi que les différences de quantités globales de matériaux.

Relevé de réseaux

En cours de réalisation et à la fin des travaux de réseaux, le récolement consiste à :

- Relever la position (x, y) et la cote des réseaux.
- Dresser le plan des équipements (réseaux aériens, souterrains ou subaquatiques, etc.) afin d'en connaître la nature et la position 3D exacte.



Coupe sur un nuage de points au droit du croisement des lignes électriques

Moyens de réalisation

Ces relevés peuvent être réalisés par :

- champs électromagnétiques,
- analyse acoustique ou vibratoire,
- sonde,
- géo Radar,
- pose de marqueur RFID (Radio Frequency IDentification),
- relevé en tranchée ouverte :
 - tachéomètre électronique,
 - canne GPS,
 - photogrammétrie via acquisition au smartphone,
 - etc.

Entreprise en charge des relevés de réseaux

L'entreprise en charge des relevés de réseaux :

- doit justifier d'une certification en géoréférencement,
- transmet ses relevés à l'exploitant.

4.3 Relevés en cours des travaux | Relevé de réseaux

Avantages des relevés de réseaux

Les relevés de réseaux :

- Alimentent les bases de données.
- Sont utilisés pour identifier et repositionner les réseaux dans le cas de travaux ultérieurs réalisés à proximité.

C'est sur la base de ces éléments que les exploitants effectuent les réponses aux déclarations de travaux DT/DICT.

Relevé de surface d'objets complexes

Certains ouvrages en béton coulé en place possèdent des surfaces complexes dont **la géométrie finie doit être parfaitement conforme à la géométrie conçue.**

Exemples

Conduites forcées de barrages hydrauliques.

Conduites de refroidissement des eaux de centrales nucléaires.

Géométrie de coffrage complexe :

- Extracteur de centrale nucléaire.
- Circuit de déplacement des boues dans des stations d'épuration.
- Jonctions de canalisations dans des circuits d'assainissement de grandes dimensions.

Origines

Ces surfaces sont réglées ou gauches. Elles peuvent être issues :

- de l'optimisation de calculs hydrauliques pour l'écoulement des eaux ou des boues,
- d'assemblages complexes accueillant des pièces manufacturées en mouvement,
- de formes architecturales.

Nécessité de réaliser des coffrages ou des négatifs à usage unique

Ces surfaces nécessitent la réalisation de coffrages ou de négatifs à usage unique, **dont la géométrie volumique et les surfaces doivent être contrôlées et validées** avant :

- la pose du ferrailage,
- le coulage du béton.

Les relevés numériques par numérisation laser permettent de comparer la géométrie théorique à obtenir avec les surfaces des coffrages et des négatifs fabriqués et installés avant les opérations de bétonnage. En cas de zones hors tolérance, des travaux correctifs préalables doivent être réalisés pour atteindre la géométrie attendue.

Autres objets concernés

D'autres objets peuvent être concernés comme :

- la vérification de la conformité du coffrage avant de couler le béton,
- l'opération de rechemisage de buses.

Récolement

Une phase finale de livraison des projets...

Le récolement est la phase finale de livraison des projets. Cette phase est très importante, car elle :

- Permet de vérifier la conformité du projet réalisé par rapport au projet nominal.
- Sert de documentation de base pour l'exploitation, la maintenance et pour les éventuels projets futurs (extension, élargissement, etc.).

4.3 Relevés en cours des travaux | Récolement

... qui nécessite d'accorder une attention particulière au relevé numérique

Une attention toute particulière doit être accordée au relevé numérique lors de cette étape. En effet, **les plans DOE sont souvent issus des plans d'exécution** mis à jour à partir d'indications des équipes travaux au cours du chantier. Le processus d'intégration d'information peut alors ne pas suivre les méthodologies appropriées. Cela peut induire par la suite un manque de précision.

4.4. Relevés pour l'exploitation

Auscultation d'ouvrages

L'auscultation d'ouvrages :

- Consiste à réaliser des mesures permettant de mettre en évidence :
 - l'évolution d'un ouvrage dans le temps,
 - son comportement dans une situation donnée.
- Contribue à garantir la pérennité et la sécurité des ouvrages dans le temps.
- Aide à la définition du programme d'entretien.

Étude des conditions des prises de mesure

Après avoir défini le mode opératoire permettant d'obtenir la précision souhaitée par le maître d'ouvrage, il faut étudier les conditions des prises de mesure en fonction :

- de l'ouvrage (pipeline, pont, pylône, bâtiment, etc.),
- de l'environnement (zone industrielle, zone urbaine, zone boisée, etc.).

Réalisation et présentation des mesures et des calculs

Ensuite, les mesures et calculs sont réalisés et présentés en explicitant les écarts par rapport à :

- une situation théorique,
- une situation ancienne.

Classification des auscultations en deux grandes familles

Les auscultations se classent en deux grandes familles :

L'auscultation en temps réel...

... permet de connaître le comportement d'un ouvrage soumis à diverses contraintes extérieures (exemple : résistance à la charge d'un pont avant sa mise en service). Les résultats sont obtenus en temps réel depuis un ou plusieurs points de référence. Ils sont considérés comme fixes avec une précision inférieure aux tolérances imposées. Ils sont ensuite comparés aux données du constructeur.

L'auscultation en mode statique...

... correspond à l'observation d'un ouvrage à différentes dates. La déformation éventuelle de l'ouvrage est appréciée par rapport à une date de référence ou par comparaison de mesures réalisées à des dates successives.

Une métrologie au service de l'auscultation d'ouvrages

▾ Présentation

Généralement au service de l'auscultation d'ouvrages, la métrologie correspond à l'ensemble des opérations qui permettent :

- d'effectuer des mesures géométriques,
- de les interpréter,
- de garantir leur exactitude.

Ces opérations consistent à **mettre en œuvre des appareils de mesure de haute précision avec une méthodologie rigoureuse et adaptée à la précision recherchée.**

4.4 Relevés pour l'exploitation | Auscultation d'ouvrages

Une métrologie au service de l'auscultation d'ouvrages

Notions à maîtriser

La métrologie fait appel à la maîtrise de nombreuses notions visant à qualifier les résultats :

Écart type	Indicateur de la dispersion des mesures autour de leur moyenne. Cette valeur n'est pas nécessairement la plus exacte si l'appareil produit des erreurs systématiques.
Exactitude	Capacité d'une méthode de mesure à donner la valeur exacte, caractérisée par l'erreur moyenne quadratique.
Erreur moyenne quadratique	Indicateur de l'exactitude qui tient compte à la fois : <ul style="list-style-type: none"> des erreurs systématiques, des erreurs accidentelles.
Précision	Qualité globale d'une mesure, ou d'un instrument, capable de donner quasiment le même résultat lorsqu'on répète plusieurs fois la même mesure. Très régulièrement confondu avec l'exactitude.

Utilisation d'appareils de mesures topographiques...

Une large gamme d'appareils de précision est disponible sur le marché :

- niveaux électroniques Leica,
- stations complètes de haute précision TDA 5005 et Trimble S8,
- scanner 3D Trimble TX8.

Ces relevés peuvent s'appliquer aux suivis de glissement et de tassement :

- en reportant dans le temps les évolutions,
- en les comparant (instrumentation-suivi).

... mais aussi de capteurs à fibre optique !

Au-delà de ces appareils de mesures topographiques, des capteurs à fibre optique peuvent aussi être utilisés pour observer des déformations sur des ouvrages, avec une très grande précision (<10-3m).

Rénovation ou démantèlement

Un relevé géométrique précis peut permettre de faciliter la rénovation ou le démantèlement d'un ouvrage. Outre les techniques traditionnelles de relevé, des outils tels que les scanners laser 3D, qu'ils soient fixes ou mobiles, permettent d'obtenir rapidement des nuages de points de l'existant, ce qui constitue une parfaite photographie d'un ouvrage. En effet, la connaissance d'un ouvrage, des matériaux présents et de leur état, facilite :

- L'anticipation des évolutions possibles d'un bâtiment.
- L'optimisation du recyclage des éléments qui constituent l'ouvrage.
- Le traitement des déchets lors des phases de démantèlement ou de destruction.

5. TECHNOLOGIES D'ACQUISITION

5.1. Photogrammétrie

Présentation

La photogrammétrie est une technique qui permet de **reconstituer en 3D une copie exacte d'objets naturels et artificiels, de surfaces**, à l'aide de clichés aériens ou terrestres.

Moyens

Des moyens
souvent aériens...

... mais aussi des usages
orientés infrastructure !

Démocratisation du
matériel et des logiciels

La photogrammétrie est souvent utilisée avec des moyens aériens :

- drones,
- avions,
- ULM,
- hélicoptères.

Nous trouvons aujourd'hui des usages orientés « infrastructures » **permettant de faire des prises de vues d'une tranchée.**

La photogrammétrie est historiquement plutôt réservée à des cabinets de géomètres experts. La démocratisation du matériel et des logiciels permettant l'acquisition, son interprétation et sa transcription en plans et modèles numériques rendent ce procédé disponible pour le plus grand nombre :

- prestataire de services topographiques,
- entreprises de travaux publics.

Exploitation des données

L'exploitation de ces données est possible **par l'utilisation d'un logiciel de calcul photogrammétrique**. Ce logiciel détecte les pixels en commun entre les images. Ensuite, il les immatricule.

En analysant les positions relatives de ces pixels sur l'ensemble des photos de la scène, un algorithme permet d'en déduire les positions dans l'espace sous forme de coordonnées X, Y et Z.

Chaque pixel identifié constitue un sommet permettant de générer un maillage triangulé reproduisant la géométrie du terrain. Les photos sont ensuite plaquées sur ce modèle pour le texturer.

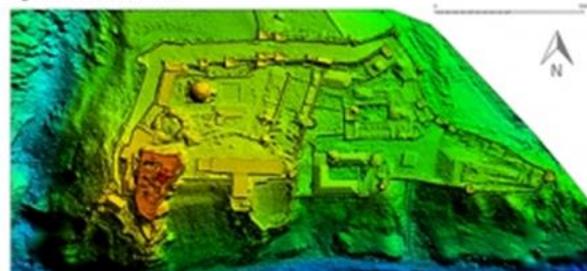
1932 clichés aériens / surface couverte: 10ha



Orthophoto - GSD 1cm



Digital Surface Model - 4cm



Développé photogrammétrique de la face Sud



Digital Surface Model de la face Sud



Interface d'un logiciel de calcul photogrammétrique

5.2. Lasergrammétrie

Présentation

Un Lidar ou scanner laser 3D est un instrument qui balaye l'espace verticalement et horizontalement en positionnant des millions de points à l'aide d'un faisceau laser.

La technologie Lidar (acronyme de « light detection and ranging » soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière » ou « par laser ») est une technique de télédétection par balayage laser.

Non intrusive et très précise, la lasergrammétrie est particulièrement adaptée aux levés topographiques de zones végétalisées, accidentées ou difficiles d'accès, lorsqu'il s'agit de représenter la morphologie d'un terrain de manière dense, exhaustive.

La distance à un objet ou à une surface est donnée par :

- la mesure du délai entre l'impulsion et la détection du signal réfléchi,
- la direction par l'orientation du faisceau laser.

Le nuage de points exhaustif est alors traité avec un logiciel adapté.

Grâce à un relevé laser, le scanner réalise un nuage de points d'un espace en 3 dimensions. Chaque point résulte de l'impact du laser sur une surface permettant par exemple :

- d'actualiser les plans d'une zone d'intervention en fournissant cotes ou mesures d'angle,
- d'identifier rapidement des déformations sur une paroi.

Les applications peuvent être diverses :

Production de livrables topographiques

MNS (Modèle numérique de surface).

MNT (Modèle numérique de terrain).

MNE (Modèle numérique d'élévation).

MNC (Modèle numérique de canopée).

MNH (Modèles numériques de hauteur).

Images d'intensité.

Étude d'infrastructures et cartographie de corridor

Aménagement de territoire : génie civil, BTP, architecture, urbanisme.

Infrastructures de transport (routier, ferroviaire, fluvial), pipelines, lignes à haute tension, télécommunication, installation de la fibre optique, etc.

Risques naturels

Plans de prévention du risque d'inondation (PPRI).

Suivi de déformation : mouvements de terrain, transport de matériaux, érosion.

Risques gravitaires (chutes de blocs).

Trajectographie.

Calcul de la distance à un objet/une surface

Réalisation d'un nuage de points

Applications possibles

5.2 Lasergrammétrie

Acquisition
Lidar statique

Nous vous présentons ci-dessous le Lidar 3D statique.

Lidar 3D statique	
Opérations	Ouvrages isolés.
	Ouvrages d'art non courants.
	Bâtiments.
	Auscultation.
Précision	Centimétrique.
Mise en œuvre	Calage sur polygonale existante, balisage si besoin. → Intervention sur site à proximité de l'ouvrage (50 à 80 m).
Avantages	Rapide.
	Relevé à distance. « Tel que construit » de l'ouvrage.
Inconvénients	Distance de levé max 100 m pour garder la précision centimétrique.
	Plusieurs stations pour couvrir un ouvrage complet (sens 1 et sens 2). Levé impossible par temps de pluie et de brouillard.
Livvable	Nuage de points lisible par visionneuse gratuite.
	Plans au format Autocad 2D et 3D.

Acquisition
Lidar aéroporté

Présentation

Nous vous présentons ci-dessous le Lidar 3D dynamique aéroporté.

Lidar 3D dynamique aéroporté	
Opérations	Infrastructure linéaire.
	Zone étendue.
Précision	5 à 10 centimètres.
Mise en œuvre	Mesures GPS statique sur polygonale existante ou utilisation des stations permanentes de l'IGN.
	→ Contrôler au préalable l'autorisation de vol en fonction du site.
Avantages	Pas d'intervention humaine sur l'infrastructure.
	Rapide, large zone couverte en 1 seul vol.
	Méthode très performante sous couvert végétal. Prises de vue de photos aériennes à basse altitude (orthophotos ou obliques).
Inconvénients	Données très volumineuses.
	Levé impossible par temps de pluie et de brouillard.
Livvable	Nuage de points (découpage à réaliser en fonction des capacités informatiques).
	Plans au format Autocad 2D et 3D.
	Modèle numérique de terrain précis (5 cm). Orthophotos + vues obliques.

Une technologie
utilisable en mouvement

Cette technologie peut également être utilisée en mouvement (embarqué sur un véhicule, aéroporté, scanner piéton).

5.2 Lasergrammétrie

Acquisition Lidar
sur mobiles terrestres

Présentation

Nous vous présentons ci-dessous le Lidar 3D dynamique terrestre.

Lidar 3D dynamique terrestre	
Opérations	Infrastructure linéaire.
	Chaussées.
	Gare de péage.
	Dispositifs de retenue.
Précision	2 centimètres.
Mise en œuvre	Mesures GPS statique sur polygonale existante (tous les 5 km).
	Points de calage sur bande d'arrêt d'urgence (BAU) tous les 1 km avant et après masque GPS ² .
	Nivellement de points sur BAU pour caler l'altimétrie (50 à 100 m). → Circulation sur la voie de droite avec protection par fourgon si nécessaire.
Avantages	Rapide (30 à 70 km/h).
	Pas d'intervention humaine sur voie rapide, TPC et zones dangereuses.
	Relevé complet du « visible ».
	Couplage caméra possible.
Inconvénients	Vitesse réduite au niveau des ouvrages pour lever les petits détails (10 cm).
	Nivellement de points sur BAU pour assurer la précision altimétrique (centimètre).
	Données très volumineuses.
	Levé impossible par temps de pluie et de brouillard.
Livrabable	Nuage de points (découpage à réaliser en fonction des capacités informatiques).
	Plans au format Autocad 2D et 3D.
	Modèle numérique de terrain centimétrique.

Dispositifs d'acquisition

Nous vous présentons ci-après les dispositifs existants :

Dispositifs	Commentaires
Chariot	--
Chariot autoporté sur rails	--
Véhicule	<p>Ordre de grandeur du prix d'acquisition de la centrale : 500 000 €.</p> <p>Le « mobile mapping », appelé aussi cartographie mobile ou scanner dynamique, est un élément essentiel de la documentation 3D moderne. Un système de mobile mapping intègre des capteurs sans fils et une navigation synchronisée. C'est un outil extrêmement puissant pour la collecte d'informations 3D à grande échelle, dont la cartographie des routes et les maquettes 3D des villes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vitesse d'acquisition > 2 000 points/s. • Précision de mesure > +/- 2 cm.

² Masque GPS : Zone masquée aux satellites GPS (exemple : volume sous un pont)

Dispositifs	Commentaires
Drone	Ordre de grandeur du prix d'acquisition, selon l'usage : de 1 000 € à 30 000 €.
	<p>Les opérations par drones permettent une mesure exhaustive du terrain, grâce à des levés topographiques, orthophotographies, MNS/MNT (Modèle numérique de surface/modèle numérique de terrain) et plans géomètre. Cela permet alors de bénéficier de toutes les informations nécessaires à la gestion du territoire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • cartographie précise au centimètre près, • localisation des bâtiments, • plan actualisé, • etc. <p>Les applications possibles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • état des lieux du terrain, • contrôle des travaux réalisés, • suivi de l'avancement des travaux, • communication sur les aménagements effectifs.
	 <p style="text-align: center;">Exemple d'un projet routier</p>
Avion/hélicoptère	Levée des réserves à la livraison du chantier.
Équipement portable sur sac à dos	Ordre de grandeur du prix d'acquisition : de 50 000 € à 200 000 €.
	<p>Cette solution est adaptée aux projets qui peuvent être parcourus à pied et à la vitesse de la marche. Cela inclut des situations de cartographie intérieure et extérieure, telles que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des bâtiments nécessitant une modélisation, • des infrastructures souterraines non cartographiées, • des zones urbaines fermées à la circulation, • des mines, • des sites patrimoniaux avec un accès limité, • la construction de systèmes SIG. <p>Cette technologie utilise le GPS pour le positionnement en extérieur, ainsi que des unités de mesure inertielles et la localisation et mesure simultanées pour le positionnement en intérieur, là où les signaux GPS sont coupés. Cela lui donne une précision de localisation de 5 cm à 50 cm après dix minutes de marche sans utiliser de points de contrôle.</p>

5.3. Interférométrie radar

<p>Présentation</p> <p>Plage de mesure</p> <p>Utilisation préférée en zone urbaine</p> <p>Applications</p> <p>Principales caractéristiques</p>	<p>L'interférométrie radar ou encore INSAR pour Interferometric Synthetic Aperture Radar exploite la différence de phase entre images radars.</p> <p>Cette technique est plutôt qualifiée de technique d'auscultation. Elle est basée sur des mesures à partir de satellites.</p> <p>Elle peut être considérée comme très chère. Elle reste ainsi à privilégier sur de grands projets (exemple : métro) où son coût devient alors amortissable.</p> <p>La plage de mesure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • est de l'ordre du cm au mm, • doit être mesurée sur une plage de temps assez long (mois ou années). <p>Cette technologie est adaptée en zone urbaine, mais ne donne pas de résultat satisfaisant sur les zones végétalisées.</p> <p>Les applications peuvent être menées sur tout projet ou structure qui sont concernés par des risques géotechniques, structurels et environnementaux à grande échelle. Il est également possible de combiner des données satellites avec des données de monitoring classique.</p> <p>Les principales caractéristiques sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Très forte densité de point, jusqu'à 10 000 points/km². • Analyse des tassements non linéaires. • Possibilité de cartographie des tassements. • Import et gestion des données. • Outil d'aide à la décision et à la communication. • Méthode brevetée pour le couplage avec des données issues du monitoring de surface traditionnel : <ul style="list-style-type: none"> - mesures automatiques, - relevés manuels, - points de mesures GPS et satellites.
<p>Avantages</p> <p>Intégration d'une dimension spatiale et cartographique à l'analyse</p> <p>Facilitation de la communication de données complexes</p>	<p>Les nouvelles générations d'images satellites permettent d'obtenir une résolution spatiale en milieu urbain de 3 m et des précisions de l'ordre de quelques millimètres sur la mesure de tassement.</p> <p>Couplée à des mesures au sol de topographie automatique, cette technique permet d'intégrer une dimension spatiale, cartographique (les images acquises font plusieurs dizaines de kilomètres de côté) à l'analyse tant en détection qu'en monitoring de problèmes.</p> <div data-bbox="523 1702 1433 1787" style="background-color: #333; color: white; padding: 5px;"> <p>Exemple</p> <p>Rabattement de nappe à Paris lors des travaux de la ligne EOLE.</p> </div> <p>Cette technique par son approche cartographique facilite également la communication de données techniques complexes aux parties prenantes des projets sensibles.</p>

5.3 Interférométrie radar

Résultats

Les résultats sont les suivants :

- Fréquences jusqu'à 4 mesures par mois.
- Précision : environ 3 mm en mouvement et jusqu'à moins de 1 mm.
- Couverture étendue.
- Cartes haute densité.
- Résultats affichés sur logiciel de visualisation ou Google Earth.
- Optimisation des coûts.



1. Quais et ports

2. Zones urbaines (construction de tunnel, rabattement de nappe)

3. Infrastructures (aéroports, bâtiments)

4. Corridors
(plateformes ferroviaires, autoroutes)

5. Pentes instables

6. Barrages

6. CONCLUSIONS

Rappel de l'objet

Dans ce document sont présentées les différentes techniques utilisées pour les relevés numériques ainsi que leurs domaines d'application.

Champs d'application des technologies courantes

Le tableau ci-dessous reprend les différents champs d'application des technologies courantes. Les critères tiennent compte :

- des besoins,
- des coûts,
- de la précision,
- des contraintes d'exploitation.

Opérations	Méthodes						
	Relevé Traditionnel Tachéomètre	GPS	Photogrammétrie	Lidar statique	Lidar dynamique terrestre	Lidar dynamique aéroporté	Interférométrie radar (INSAR)
Mise à jour de plans 1/1000 ème	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté	Peu adapté	Pas adapté
Zone < 10 ha	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté
Zone > 10 ha	Peu adapté	Peu adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté	Peu adapté	Affaissements, glissements, retrait gonflement.
Zone > 100 ha	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté	Adapté	Affaissements, glissements, retrait gonflement.
Infrastructure linéaire	Peu adapté	Peu adapté	Peu adapté	Peu adapté	Adapté	Adapté	Sismotectonique
Chaussées	Peu adapté	Pas adapté	Peu adapté	Peu adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté
Ouvrages d'art	Peu adapté	Pas adapté	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté
Ouvrages hydrauliques (barrages)	Adapté	Pas adapté	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Hors (eaux)
Gare de péage	Peu adapté	Pas adapté	Adapté	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté

Légende

La légende du tableau précédent est la suivante :

Légende	
Adapté	Adapté
Peu adapté	Peu adapté
Pas adapté	Pas adapté

Intégration d'un processus BIM dans le relevé numérique

Les résultats de relevés numériques peuvent intégrer un processus BIM **s'ils sont préalablement réalisés suivant une charte adaptée.**

Un relevé numérique réalisé dans la perspective d'intégration dans un modèle BIM doit avoir un niveau de qualité défini notamment par :

- Une classification/hierarchisation des données (voirie, végétation, bâtiments, etc.) pour mieux anticiper la synthèse (au sens modèle).
- Un découpage « intelligent » afin de pouvoir l'utiliser facilement pour des maquettes exploitables.
- Une densité et une précision adéquates aux attentes du projet.

Facteurs de réussite d'un projet dans un processus BIM

Les points incontournables pour réussir un projet dans un processus BIM sont :

- D'anticiper les exigences du projet.
- D'avoir une parfaite définition du cahier des charges des livrables attendus et de leur qualité.
- De bien sensibiliser les différents acteurs sur la nécessité de la collaboration dès les premiers pas de l'acquisition jusqu'à la livraison du projet pour l'exploitation.

7. REFERENCES

Tableau des références

Les références sont les suivantes :

Références
Rapport interne ECARTIP groupe Fondasol.
RINEX : Solution de post traitement de données GPS GNSS, sans avoir de matériel particulier, en s'appuyant sur les données de récepteurs GNSS proches. https://rinexpro.com/#rinex
« Topographie opérationnelle » de Michel Brabant, chez Eyrolles.
REX LIDAR S. GUILLOTEAU. https://www.vinci-autoroutes.com/fr
http://www.geometre-expert.fr/oge/les-activites/les-activites-rec_87233
http://www.geometre.net/interventions/bathymetrie/
https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/applications-radars-42592210/interferometrie-radar-te6704/
http://www.soldata.fr/solfrey/iweb.nsf/pages/interferometrie-radar.945D12045DACD67DC125795D007972B3
http://www.soldata.fr/solfrey/iweb.nsf/O/6B5EB7F0E8B5818BC1257E22004C1C33/\$file/plaquette-innovation-atlas-fr%202.pdf
http://www.geomesure.fr/brochures/Livre_blanc_Faro_2012.pdf
https://skur.com/solutions/

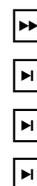
8. ANNEXES

8.1. Annexe I : exemple de fiche de synthèses à remplir par le client

1. Nature de l'ouvrage

Veillez indiquer la nature de l'ouvrage à acquérir

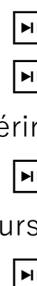
- ouvrage ponctuel
- ouvrage linéaire
- ouvrage surfacique
- ouvrage souterrain



2. Emprise géographique du projet à relever

Veillez fournir au moins un des documents suivants:

- fichier numérique qui détermine la zone de l'acquisition
- une carte géographique avec indication de la zone à acquérir
- sur les projets linéaires, indication le PK début et le PK fin de la zone à acquérir en précisant la prise en compte (ou pas) des bretelles d'entrée et de sortie
- indication de la prise en compte (ou pas) des ouvrages d'art (Passage supérieurs et passage inférieur)

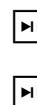


3. Précision attendue

Veillez indiquer la tolérance d'erreur admissible pour les mesures

En planimétrie : ...

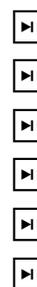
En altitude : ...



4. Contraintes environnementales et temporelles

Veillez cocher la case correspondante

- la zone d'acquisition n'est pas accessible en véhicule roulant
- la zone est classé sensible
- la zone est inaccessible de jour
- la zone est inaccessible de nuit
- la zone est inaccessible le weekend et les jours fériés
- la zone nécessite un balisage



Exemple de fiche de synthèses à remplir par le client (1/2)

5. Forme de livrable attendue

→ nuage de point brut (format .txt)

→ nuage de point typé (format .txt, .las; .laz ; .e57)

→ plans 2D en format :

◆ dwg

◆ dxf

◆ dgn

→ plans 3D en format

◆ dwg

◆ dxf

◆ dgn

→ Modèle Numérique de Terrain (MNT) en format

◆ dwg

◆ dxf

◆ dgn

◆ ifc

◆ LandXML

6. Référentiel géographique de référence

→ En planimétrie:

Veillez cocher une seule case:

◆ RGF 93

◆ NTF (Lambert zones)

◆ Polygonale de chantier. Les fiches signalétiques des bornes en cours de validité doivent alors être jointes en annexe au moment de la signature du contrat

→ En altimétrie

Veillez cocher une seule case

◆ IGN 69

◆ IGN 78 (Corse)

Exemple de fiche de synthèses à remplir par le client (2/2)